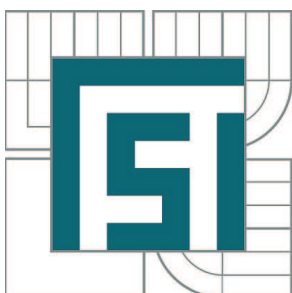


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KOTEVNÍHO PRVKU

MANUFACTURING OF WALL CLAMP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETR ISAKIDIS

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Isakidis

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba kotevního prvku

v anglickém jazyce:

Manufacturing of wall clamp

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby držáku kotevního prvku z 4 mm ocelového plechu. Součástka je prostorového tvaru s několika otvory a bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii stříhání a ohýbání spolu se zhodnocením výroby součástí obdobných tvarů. Následovat bude návrh vhodné technologie a vypracování postupu výroby součásti (provedení technologických a kontrolních výpočtů), návrh sestavy nástroje spolu s výrobními výkresy zadaných dílů, technicko-ekonomické hodnocení a závěr.

Seznam odborné literatury:

1. NOVOTNÝ, J. – LANGER, Z.: Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů; Redakce báňské a strojírenské literatury; 1. vyd. L 13-B3-IV- 41/22674; SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p.; 1980; 216 str..
2. FOREJT, M. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Brno, Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. Edit. Nakladatelství VUT v Brně. ISBN 80-214-0294-6.
3. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F., NOVOTNÝ, K.: Technologie tváření – plošné a objemové tváření, 1.ed., edit.Rektorát VUT v Brně, 2003, pp.169, ISBN 80-214-2340-4
4. ROMANOVSKIJ, V.P. Příručka pro lisování za studena. 2. vyd. Praha, SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
5. NOVOTNÝ, K. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno, Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. Edit. Nakladatelství VUT v Brně. ISBN 80-214-0401-9.
6. VYSKOČIL, O. – BARTOŠ, P.: Směrnice pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání; Zbrojovka Brno n. p.; 1. vyd.; Brno; 1977; 88 str..
7. MARCINIAK, Z. Teorie tváření plechů. 1. vyd. Praha, SNTL, 1964. 462 s. DT 621.777.001.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

ISAKIDIS Petr: Výroba kotevního prvku

Projekt vypracovaný v rámci magisterského studia programu M2I-K předkládá technologii pro výrobu kotevního prvku z ocelového plechu 11 321.1. Na základě literární rešerže byla zvolena optimální technologie stříhání a ohýbání. Pro tyto metody byly provedeny konstrukční a technologické výpočty a navržen sdružený nástroj. Vzhledem k pracovní síle byl zvolen výstředníkový lis CDCH 3000P. Pracovní části nástroje jsou vyrobeny z oceli 19 436.3. Z ekonomického hodnocení vyplývá cena součásti 36,-Kč.

Klíčová slova: Ocel 11 321.1, plošné tváření, stříhání, ohýbání, lisovací nástroj.

ABSTRAKT

ISAKIDIS Petr: A Production of An Anchorage Component

The design which was work out in college plan M2I-K is setting up a production technology for an wall clamp from a steel plate 11 321.1. Based on the literature search it was chosen optimal technology of cutting and forming. Structural and technological calculations were implemented for these methods and the composite machine tool was projected. The eccentric bending press CDCH 3000P was chosen because of its working power. Working parts of the tool are made from steel 19 436.3. Price of the component is 36 Czech crowns which is result from the economic classification.

Key words: Steel 11 321.1, planar forming, cutting, forming, pressing tool.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ISAKIDIS, Petr. *Výroba kotevního prvku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2011. 53 s., CD, Přílohy. Vedoucí diplomové práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Dolanech 27.05.2011

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Kamilu Podanému za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále děkuji své ženě Zdeňce Isakidisové za obrovskou podporu a pomoc.

OBSAH**Zadání****Abstrakt****Bibliografická citace****Čestné prohlášení****Poděkování****Obsah**

1	ÚVOD	- 11 -
2	ROZBOR SOUČÁSTI	- 12 -
	2.1 Možné způsoby výroby	- 13 -
3	STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ	- 15 -
	3.1 Stříhání.....	- 15 -
	3.1.1 Střížná síla a střížná práce	- 17 -
	3.1.3 Technologické parametry	- 20 -
	3.1.4 Nástřihový plán	- 22 -
	3.1.5 Nástroje pro stříhání	- 24 -
	3.2 Ohýbání.....	- 27 -
	3.2.1 Síla potřebná pro ohyb.....	- 28 -
	3.2.2 Technologické parametry	- 28 -
	3.2.3 Nástroje pro ohýbání	- 31 -
	3.3 Technologičnost výroby součástí.....	- 32 -
	3.3.1 Technologičnost konstrukce u stříhání	- 32 -
	3.3.2 Technologičnost konstrukce u ohýbání	- 33 -
	3.4 Tvářecí stroje	- 34 -
	3.1 Mechanické lisy	- 34 -
	3.2 Hydraulické lisy.....	- 34 -
4	NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE	- 36 -
	4.1 Výpočet parametrů potřebných pro konstrukci a výrobu	- 42 -
	4.2 Návrh stroje a nástroje	- 47 -
5	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	- 49 -
	5.1 Technické hodnocení	- 49 -
	5.2 Ekonomické hodnocení.....	- 49 -
6	ZÁVĚRY	- 53 -

Seznam použitých zdrojů**Seznam použitých označení a symbolů****Seznam příloh****Seznam výkresů**

1 ÚVOD

Ve strojírenské technologii se objevují stále nové trendy ve vývoji nových způsobů výroby. Pro technologa je velmi důležité držet krok s těmito aktivitami. Znalost nejnovějších poznatků v oboru nejenom strojírenské technologie, ale i v oboru materiálového inženýrství, je základem pro zvolení správné technologie. Ve strojírenské výrobě existuje mnoho technologických procesů, které vedou k přetvoření vstupního materiálu v hotový výrobek. Při určování vhodné technologie je vždy snahou vyrábět součásti na co nejmenší počet operací a tzv. na hotovo. Mezi základní strojírenské technologie patří např. odlévání, kování, tváření, svařování apod.

Při volbě jakékoliv technologie výroby je třeba klást důraz na kvalitu výrobku a nízké výrobní náklady. Skloubení těchto dvou základních požadavků není mnohdy jednoduché a je třeba zohlednit i požadované množství kusů. Mezi nejčastěji volenou technologií zpracování kovů patří tváření.

Proces, při kterém jsou polotovary železných i neželezných kovů plasticky deformovány nástroji za účelem dosažení požadovaného tvaru dílce, se nazývá tváření. Tvářením se uskutečňuje trvalá změna tvaru materiálu bez úběru třísek působením vnější síly. Při plošném tváření se dosáhne žádaného tvaru součásti (převážně z plechu) bez podstatné změny průřezu nebo tloušťky výchozího materiálu [1], [2].



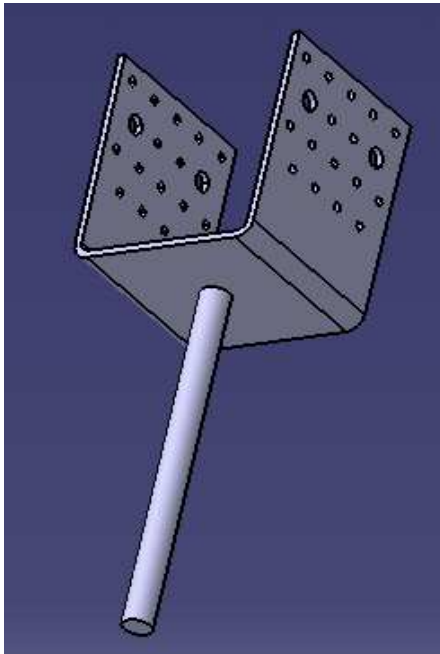
Obr.1.1 Příklady součástí vyráběných tvářením [3]

2 ROZBOR SOUČÁSTI

Výrobek „kotevní prvek“ se používá např. při stavbě přístřešků, pergol garážových stání, různých podpěr střešních převisů apod. Funkce součásti je zajistit spoj mezi dřevěnou podpěrou na jednom konci a na druhém betonovou patkou, viz obr.2.2.

Součást je ohnutý plech do tvaru „U“, má několik různých otvorů na každé straně, jejichž rozměry nejsou tolerovány (přesnost IT 12). Otvory větší jsou určeny pro šrouby nebo závitové tyče (M8, M10), otvory menší pak slouží pro závrtné šrouby do dřeva. Ke spodní straně do technologického otvoru je přivařena kulatina. Konečná povrchová úprava bude provedena galvanickým zinkováním z důvodu odolnosti součásti vůči venkovnímu prostředí.

Pro výrobu součásti bude použitý materiál ocel 11 321.1 (viz.tab.2.1, tab.2.2). Tento materiál je normalizačně žíhán, je určen k hlubokému tažení na méně náročné výtažky a je vhodný pro námi zvolenou technologii stříhání a ohýbání. Bude použitý plech o tloušťce 4mm a kulatina tzv. betonářská ocel \varnothing 16mm [4].



Obr. 2.1 Vyráběná součást



Obr. 2.2 Zabudovaná součást

Tab.2.1 Chemické složení materiálu [5]

Označení			Chemické složení			
Evropa		ČR	C% max	Mn% max	P% max	S% max
EN 10130/1998 (dřív.značení)	Staré značení DIN 1623	ČSN 42 5301				
DC01(FeP01)	St 12	11 321.1	0,12	0,60	0,045	0,045

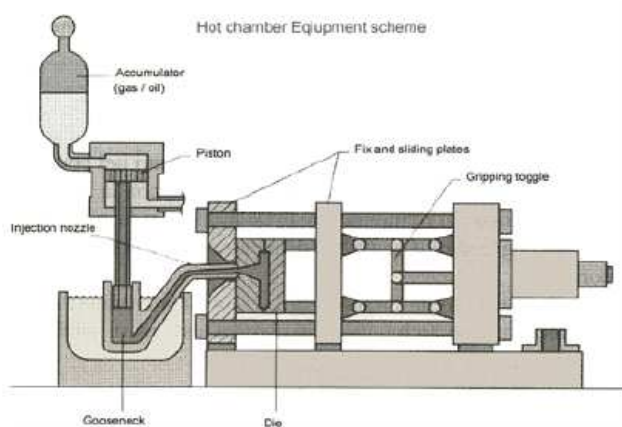
Tab.2.2 Mechanické vlastnosti materiálu[4]

Označení			Mechanické vlastnosti		
Evropa		ČR	Max.mez kluzu (MPa) ReH:	Pevnost v tahu (MPa) Rm:	Tažnost A 80 min.
EN 10130/1998 (dřív.značení)	Staré značení DIN 1623	ČSN 42 5301			
DC01(FeP01)	St 12	11 321.1	280	270-410	28

2.1 Možné způsoby výroby

Vzhledem k požadavkům uvedeným v kapitole 2 na tvarové a funkční vlastnosti součástí připadají v úvahu následující způsoby výroby [6], [7], [8], [9].

- Odléváním do formy – mezi hlavní výhody této technologie patří možnost výroby tvarově složitých součástí a možnost zpracování většiny kovů a jeho slitin. Nevýhodou této technologie je velká energetická náročnost, vysoké finanční náklady pro technologickou přípravu výroby (zhotovení technické dokumentace). Lití navíc přináší nebezpečí vzniku vnitřních vad. Vzhledem k tomu, že výsledný tvar součásti je ve tvaru „U“ připadalo by v úvahu pouze tlakové lití. Bohužel pro tuto variantu by nebylo možné použít ocel, ale některou ze zinkových slitin, které mají vynikající zabíhavost. Odlévat součást z oceli tedy není možné.



Obr. 2.3 Schéma tlakového lití [6]



Obr. 2.4 Odlitky vyrobené tlakovým litím – zinkové slitiny [7]

- Řezáním, vypalováním a děrováním laserem a následným ohybem - nejrozšířenější moderní technologie, které nám zajišťují velice přesné výrobky a krátké výrobní časy a to vše za pomoci číslicově řízených strojů. Nedílnou součástí celého procesu je tvorba programu pro daný výrobek. Výhoda těchto systémů je velká úspora na pracovní síle obsluhy, ale tato musí být vysoce kvalifikovaná. Nevýhodou těchto technologií jsou velké pořizovací náklady nejen na pořízení stroje, ale také na zaškolení kvalifikované obsluhy, bez které se tyto stroje neobejdou. Nevýhodou při volbě této kombinace technologie je nemožnost provádět výrobu na jediném stroji. Tyto stroje by provedly pouze řezání (vypalování, děrování) a následný ohyb by se musel provést na jiném pracovišti. Z tohoto důvodu vzrůstají náklady na manipulaci.
- Vysekáváním – moderní způsob pro výrobu součástí. Vysekávání pomocí CNC vysekávacích lisů je technologie určena k děrování a prorážení zadaných otvorů a tvarů za pomoci speciálních nástrojů. Vysekávací stroje jsou uzpůsobeny vysokým nárokům trhu. Jejich inovativní řešení a jedinečné koncepty zajišťují krátkou dobu zpracování a nejvyšší kvalitu výrobku. Nevýhodou této technologie je vysoké počáteční investice do strojního zařízení a nutná vysoká kvalifikace obsluhy.

- Přesným vystřihováním - tato technologie má tu přednost, že kvalita střížné plochy vykazuje maximální přesnost a sníženou drsnost. U zadané součásti ale tento požadavek na vysokou kvalitu střížné plochy není.
- Stříháním na postupovém stříhadle a následným ohybem v dalším nástroji – tato metoda spočívá v postupném vystřížení součásti v postupovém stříhadle a následném ohnutí v ohýbacím nástroji. To znamená stříhání probíhá ve jednom a ohýbání v druhém nástroji.
- Stříháním a ohýbáním ve sdruženém nástroji - pro zadaný konečný výrobek se zvolí nejvhodnější uspořádání výrobku v pásu plechu. Poté se spočítá využití materiálu, které je důležité z ekonomického hlediska, následují technologické výpočty a návrh vhodného nástroje. Výpočet stříhacích, ohýbacích sil a práce je důležitým kritériem pro volbu vhodného lisu. Výhodou této metody je, že zhotovení součásti se uskutečňuje v jednom nástroji a tudíž se maximálně snižují náklady na manipulaci s materiálem.

Z uvedených kritérií vyplývá, že nejlepší technologie z výše uvedených způsobů výroby pro zadanou součást bude prosté stříhání ve sdruženém nástroji. Na toto téma bude zaměřena teorie.

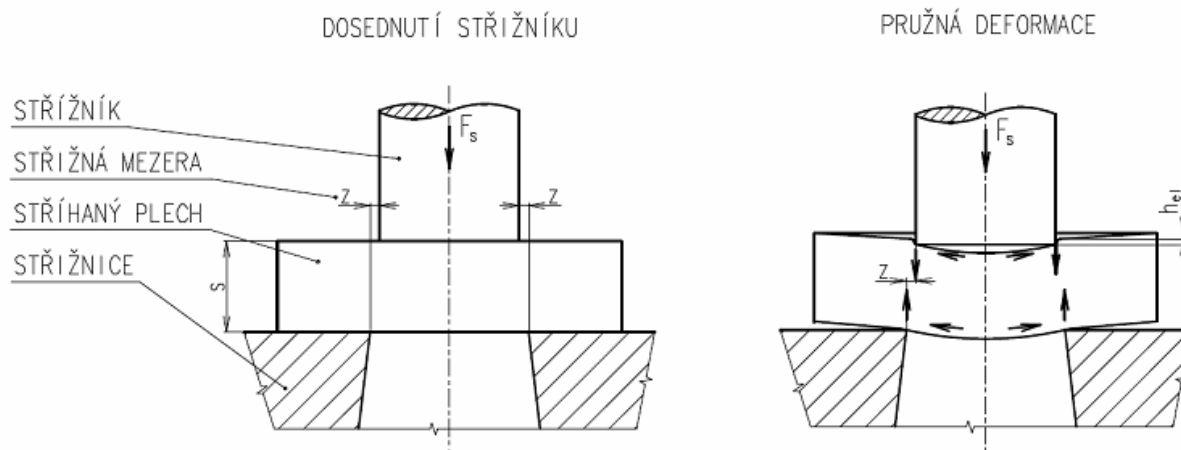
3 STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ

3.1 Stříhání

Stříháním se nazývá operace při které dochází k dělení materiálu. U kovů je tato operace zakončena porušením – lomem v ohnisku plastické deformace. Plastické přetvoření je sice průvodním, ale zároveň nežádoucím jevem. Kovové materiály se oddělují postupně nebo současně podél křivky stříhu, vytvořené relativním pohybem dvou břitů, které vyvolávají nutné smykové napětí. Jedná se o plošné tváření materiálu za použití speciálních nástrojů a strojů, které jsou pro tuto technologii určeny. Hotový výrobek, který je vytvořen stříháním se nazývá výstřížek, popřípadě výlisek.

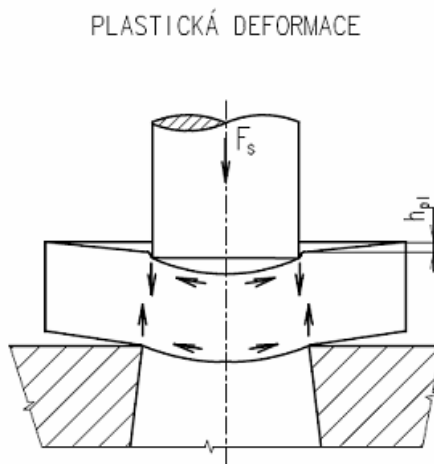
Stříhání a děrování ve střížných nástrojích začíná dosednutím střížníku na střížný plech a končí oddělením materiálu. Celý průběh se rozděluje do tří základních fází.

V první fázi (obr.3.1) stříhání tlačí střížník na plech a vyvolává napětí v tvářeném kovu, které je menší než mez pružnosti. Proto dochází jen k elastické deformaci. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu (h_{el}) závisí hlavně na jeho mechanických vlastnostech. Bývá 5 až 8% jeho tloušťky. Vznikem silových dvojic v rovinách kolmých ke střížným plochám se materiál mezi střížníkem a střížnicí ohýbá. Při tom vzniká na stříhaném materiálu zaoblení – na straně střížníku vtažením a na straně střížnice vytlačením materiálu.



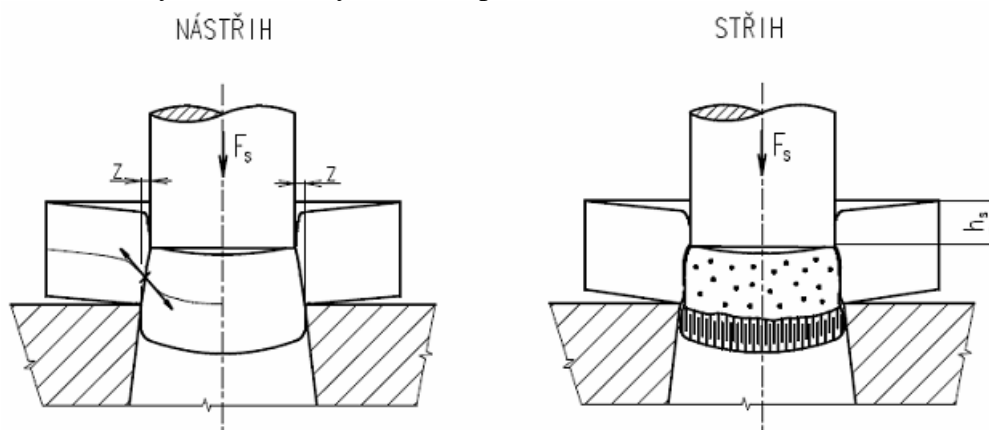
Obr.3.1 První fáze stříhání – oblast pružné deformace [2]

Ve druhé fázi (obr.3.2) vznikne ve stříhaném materiálu napětí větší než je jeho mez kluzu. Při tom dochází k plastické deformaci tohoto materiálu. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu (h_{pl}) je závislá na jeho mechanických vlastnostech a pohybuje se mezi 10 až 25% jeho tloušťky. Na konci této fáze dosahuje napětí v materiálu hodnoty pevnosti ve stříhu.



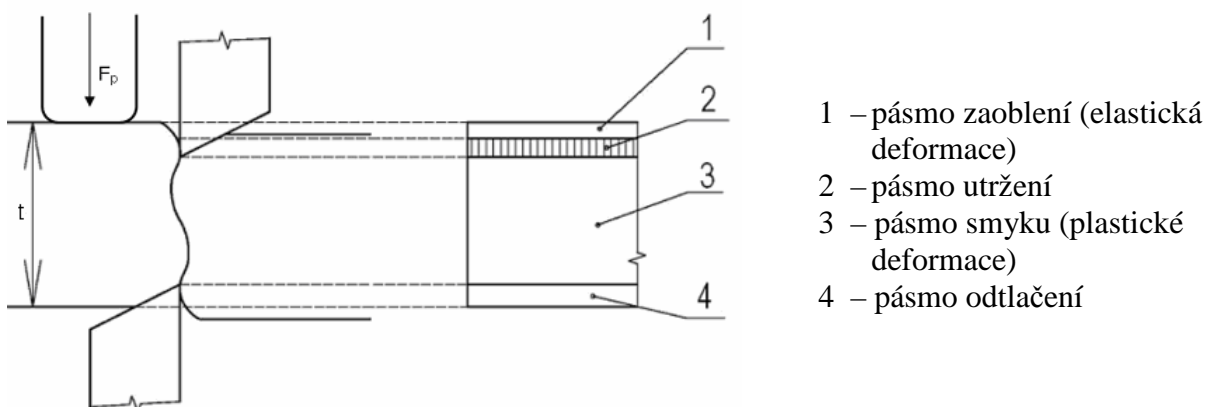
Obr.3.2 Druhá fáze stříhání – oblast plastické deformace [2]

Ve třetí fázi (obr.3.3) je materiál namáhán nad mez pevnosti ve sřihu. Hloubka vniku sřizníku do sříhaného materiálu (h_s) je 10 až 60% jeho tloušťky. Závisí na velikosti sřizné mezery a druhu materiálu. Nejprve vzniknou mikroskopické a potom makroskopické trhliny v materiálu u hran sřizníku a sřiznice. Trhliny se rychle prodlužují až nastane oddělení výsřizku od výchozího materiálu. Rychlost postupu trhlin je závislá na vlastnostech sříhaného materiálu a průběh na velikosti sřizné mezery. Tvrdý a křehký materiál se oddělí téměř okamžitě, měkký a houževnatý relativně pomalu.



Obr.3.3 Třetí fáze sříhání –oddělení materiálu [2]

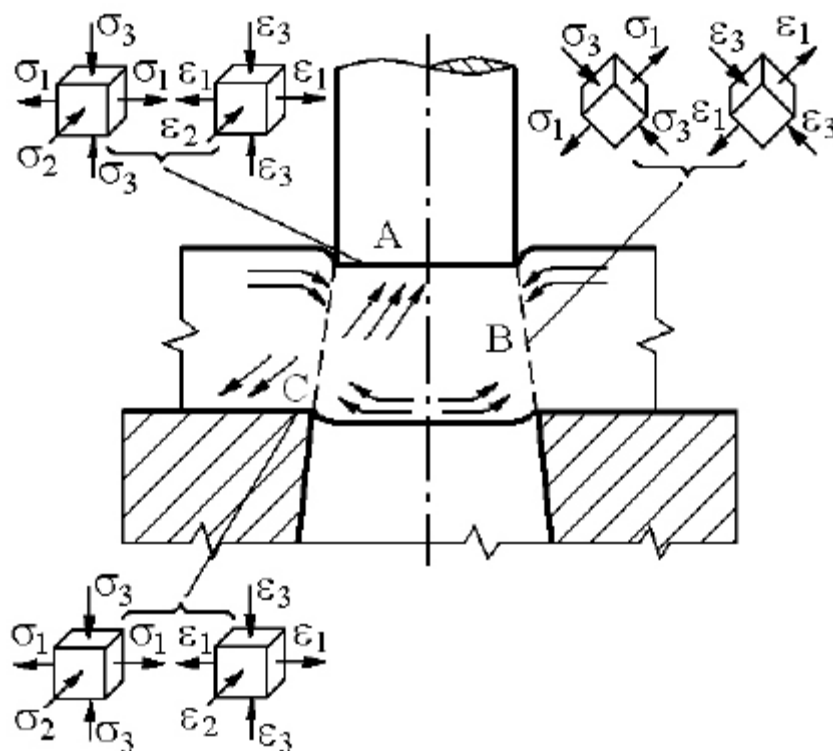
Jelikož se výsřizek většinou oddělí dříve, než projde sřizník celou tloušťkou sříhaného materiálu, nejsou okraje sřizných ploch dokonale rovinné a celá sřizná plocha má určitou drsnost, která ale není v ploše rovnoměrně rozdělená. Drsnější jsou ta místa, kde došlo k prvnímu vzniku mikrotrhlin. K oddělení nedojde přesně v žádné rovině a to proto, že materiál je elastický a napětí způsobuje tlak nožů na celé sřizné ploše. Proto rozeznáváme na sřizné ploše různá deformační pásma, viz obr.3.4.



Obr.3.4 Deformační pásma při sříhání [10]

Sříhání je tedy jedinou tvářecí operací, která směřuje k žádoucímu porušení materiálu. Při výpočtu tvářecích sil se to projeví tím, že zde použijeme meze pevnosti místo meze kluzu.

Během procesu sříhání vzniká oblast „A“ pod plochou sřizníku, viz obr. 3.5, nesterorodá prostorová napjatost, která má jedno napětí tahové (σ_1) a dvě napětí tlaková (σ_2 , σ_3). Deformace, která odpovídá této napjatosti, je také nesterorodá a prostorová. V těsné blízkosti sřizné hrany je největší hlavní tahové napětí (σ_1), které je rovno mezi pevnosti materiálu ve sřihu ($\sigma_1 = \tau_s$). Hlavní tlakové napětí (σ_3) je zde přibližně rovno polovině (σ_1). Při volném sříhání plechů o větších tloušťkách lze v oblasti „A“ uvažovat rovinný stav napjatosti, kde



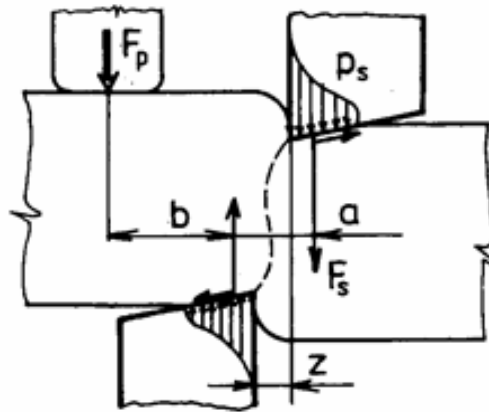
Obr.3.5 Schémata napjatosti a deformace při klasickém uzavřeném stříhání [11]

napětí (σ_2) je přibližně nulové. Deformace je v tomto místě však stále prostorová, protože složka deviatoru napjatosti i střední napětí je zde nenulové. Stejná napjatost a deformace jako v oblasti „A“ vzniká při procesu stříhání i v oblasti „C“ nad střížnicí. Ve směru do středu střížné plochy dochází ke změně poměru hlavních napětí (σ_1, σ_3) a v oblasti „B“ uprostřed této plochy platí, že $\sigma_1 = -\sigma_3$ a je zde splněna podmínka čistého smyku, kdy $\sigma_2 = 0$. V této oblasti tedy vzniká nestejnorodá rovinná napjatost i deformace. Ze schémat napjatosti na obr. 3.5 plyne, že ve směru stříhu (směr čárkované čáry) jsou působící napětí tlaková a ve směru kolmém jsou napětí tahová. Během procesu stříhání dochází mezi střížnými hranami k natahování stříhaného materiálu a jeho současnému vytlačování do stran, čímž materiál uvolňuje místo pro vnikající část střížníku a střížnice [2],[11].

3.1.1 Střížná síla a střížná práce

Střížná síla

Střížná síla F_s je zapotřebí k vystřížení výrobku z pásu plechu. Je to jeden ze základních technologických parametrů pro určení tvářecího stroje. Dvojice sil, jež působí na rameni „a“ vytváří moment těchto dvou sil. Materiál má snahu se natočit a proto je nutné použít sílu F_p tzv. přidržovací sílu, která působí na rameni „b“ dle obr.3.6. Bez použití této síly by mohlo dojít ke vtažení plechu mezi střížné nože [2].



Obr.3.6 Rozbor sil při stříhání [2]

Stanovení velikosti střížné síly F_s – obecný vzorec

$$F_s = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot t \cdot \tau_s \quad [\text{N}] \quad (3.1)$$

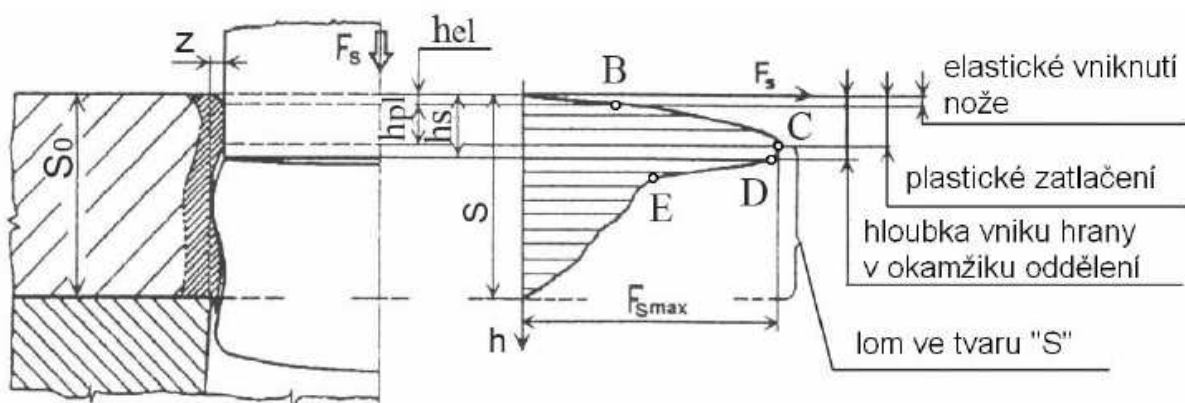
kde :

F_s	střížná síla	[N]
$n = 1,2 \div 1,5$	součinitel otupení (obvykle se volí 1,3)	[-]
S	plocha stříhu	[mm ²]
l	délka stříhu	[mm]
t	tloušťka materiálu	[mm]

Ve většině technických publikacích je uvedeno, že pevnost ve stříhu neboli napětí ve stříhu $\tau_s = 0,8R_m$ je zároveň deformačním odporem ve stříhu a zahrnuje vliv mechanických vlastností stříhaného materiálu a tvaru střížné plochy. Střížné odpory některých ocelí a neželezných kovů jsou uvedeny v příloze I a v příloze II.

Střížná práce

Práce, kterou je nutno vykonat u stříhání se nazývá střížná práce. Je přímo úměrná střížné síle a hloubce vtlačení střížníku do materiálu. Na obrázku 3.7 s průběhem střížné síly je vidět, že velikost střížné práce se mění s dráhou střížného nástroje, který vniká do stříhaného materiálu. Práce je ohraničena čarou střížné síly a dráhou střížníku [1].



Obr.3.7 Charakteristický průběh střížného procesu a střížné síly [2]

Velikost střížné práce je podle níže uvedeného vzorce:

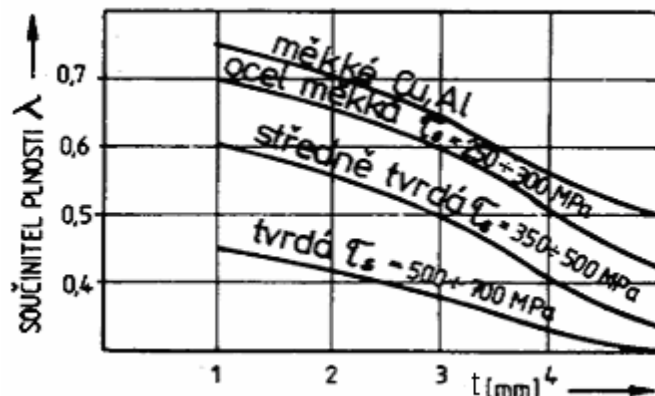
$$A = \lambda \cdot F_{\text{smax}} \cdot t \quad [\text{J}] \quad (3.2)$$

kde:

A.....střížná práce

[J]

λ součinitel plnosti [-]



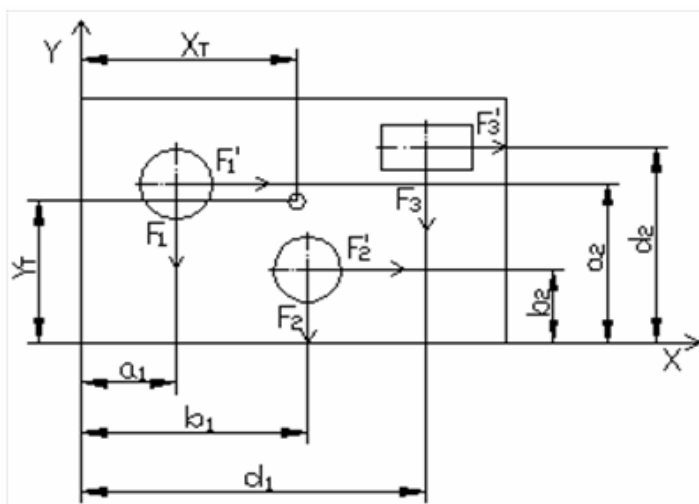
Obr.3.8 Grafické stanovení součinitele plnosti diagramu [2]

Dle výše uvedeného grafu na obr.3.8 lze určit součinitel plnosti diagramu, který je potřebný pro výpočet velikosti práce.

Těžiště střížných sil

Určení polohy těžiště střížných sil je důležité pro konstrukci nástroje. Toto těžiště určuje jednak polohu stopky a za druhé koresponduje se silovým působením tvářecího stroje. Správná poloha těžiště je důležitá zejména při postupovém stříhání, kdy nástroj obsahuje více elementů a střížné operace jsou rozděleny do více kroků.

Výsledná střížná síla tedy působí v těžišti střížných sil jednotlivých elementů nástroje. Těžiště střížných sil lze určit metodou grafickou nebo metodou početní. Při početním řešení se vychází z rovnovážného stavu, u kterého je součet momentů sil ke zvolené přímce roven nule viz. obr.3.9 [12].



Obr. 3.9 Určení těžiště střížných sil početní metodou

Stanovení polohy těžiště početní metodou – dle vztahu:

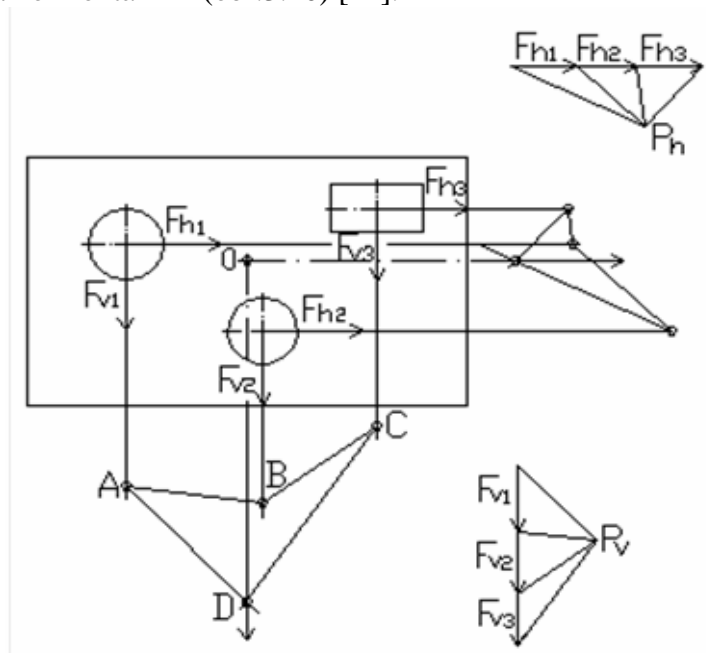
$$X_T = \frac{F_1 \cdot a_1 + F_2 \cdot b_1 + F_3 \cdot d_1}{F_1 + F_2 + F_3} \quad [\text{mm}] \quad (3.3)$$

$$Y_T = \frac{F'_1 \cdot a_2 + F'_2 \cdot b_2 + F'_3 \cdot d_2}{F'_1 + F'_2 + F'_3} \quad [\text{mm}] \quad (3.4)$$

kde:

X_T	vzdálenost těžiště od osy y	[mm]
Y_T	vzdálenost těžiště od osy x	[mm]
F_1, F_2, F_3, \dots	síly působící ve směru osy y	[N]
F'_1, F'_2, F'_3, \dots	síly působící ve směru osy x	[N]

U grafického řešení je hledané těžiště střížných sil dáno průsečíkem silové výslednice ve směru vertikálním a horizontálním (obr.3.10) [12].



Obr. 3.10 Určení těžiště střížných sil grafickou metodou [12]

F_{v1}, F_{v2}, F_{v3}	– střížné síly ve směru vertikálním	[N]
F_{h1}, F_{h2}, F_{h3}	– střížné síly ve směru horizontálním	[N]

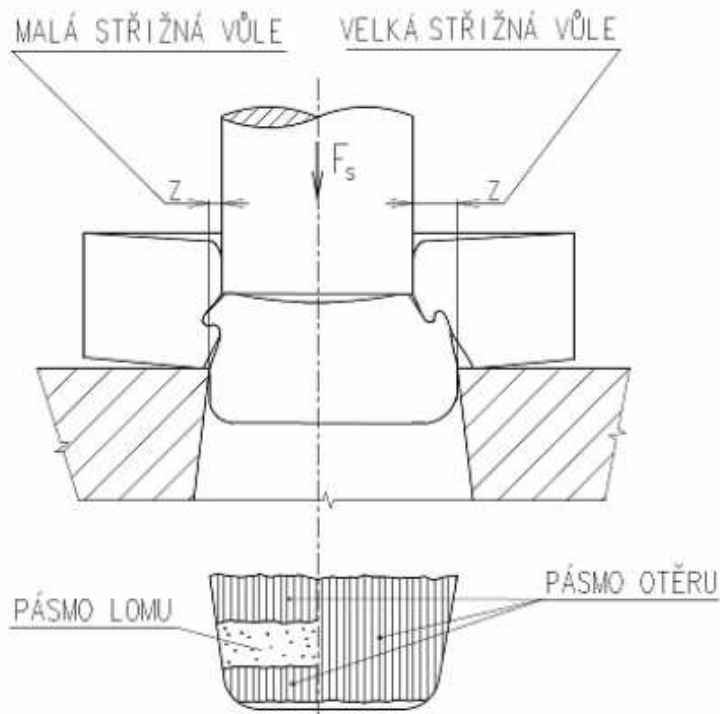
3.1.3 Technologické parametry

Při volbě polotovaru se musí brát zřetel na správnou volbu rozměru a tvaru vstupního materiálu. Je kladen důraz hlavně na ekonomičnost výroby při splnění všech předepsaných požadavků na funkci, bezpečnost a životnost výrobku. Stříháním se zpracovávají materiály, které jsou rozdílné kvality. Pokud jsou materiály dobře zpracovatelné, vyžadují dostatečnou pevnost a tažnost. Samozřejmostí je taktéž stříhání materiálu, které jsou již tepelně zpracované s vysokou pevností 1000 – 1200 MPa.

Nejkvalitnější střížnou plochu mají materiály polotvrdé, zvláště pokud je větší tloušťka plechu. Tyto materiály jsou méně citlivé na otupení, stejně tak i náchylnost tvorby otřepů a pásma zpevnění na střížné ploše je menší.

Střížná vůle

Střížná vůle je rozdíl mezi rozměrem pracovních částí střížníku a střížnice. Střížná mezera (radiální vůle) je polovina střížné vůle. U optimální střížné vůle se trhlinky od střížných hran setkají a tím se materiál oddělí při minimální střížné síle. Při malé i velké střížné vůli se kvalita střížné plochy snižuje[13].



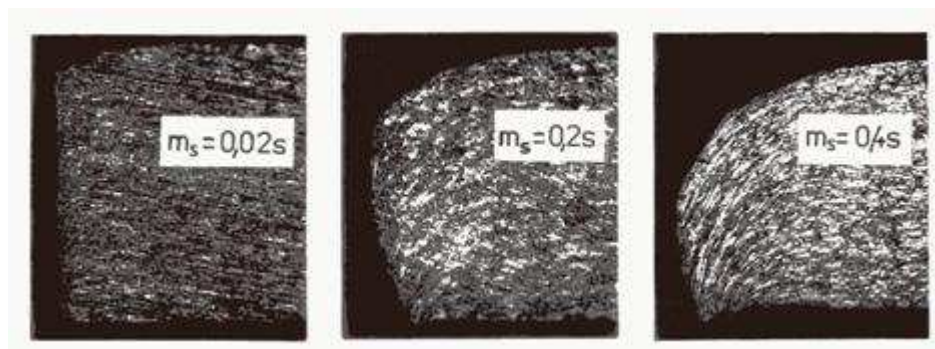
Obr.3.11 Schéma stříhání při malé a velké střížné vůli [2]

Velikosti střížné vůle dle ČSN 22 6015:

$$m = \frac{v}{2} = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (3.5)$$

kde:

v.....	střížná vůle	[mm]
m.....	střížná mezera	[mm]
c.....	koeficient závislý na druhu stříhání (pro přesné stříhání.....0,006)	[-]
t.....	tloušťka materiálu	[mm]
τ_s	střížný odpor $0,8 \cdot R_m$	[MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]



Obr.3.12 Kvalita střížné plochy pro různou velikost střížné mezery[14].

Stanovení střížné vůle je důležitým kritériem, které ovlivňuje přesnost výrobku a jeho tolerance je stanovení střížné vůle a toleranci střížných nástrojů.

Výrobky mohou být požadovány v následujících třídách přesností:

- nižší přesnost IT 14, IT 15, IT 16
- střední přesnost IT 11, IT 12
- zvýšená přesnost IT 6, IT 8, IT 9

Tab.3.1 Přiřazení přesností nástroje a výrobku [8].

Základní tolerance IT vystřihovaného výrobku	8 až 9	10	11	12	13	14	15
Základní tolerance IT střížníku a střížnice	5 až 6	6 až 7	7 až 8	8 až 9	10	11	12

Jakost střížné plochy a velikost střížné síly a s tím související opotřebení nástroje jsou hlavní hlediska, která mají vliv na volbu vůle mezi střížnými nástroji (viz. obr. 3.5.)

Proces stříhání je velmi progresivní způsob zpracování kovů. Řídí se však některými zákonitostmi a nedostatky, které je třeba respektovat:

- drsnost střížné plochy, daná průběhem deformace a jakostí materiálu
- zkosení střížné plochy vlivem střížné vůle
- zaoblení a zeslabení tloušťky výstřížku podél střížné plochy
- zpevnění střížné plochy do určité hloubky
- prohnutí některých výstřížků ohybovým momentem obou složek střížné síly

Tyto nedostatky se dají eliminovat použitím rozličných druhů technologií stříhání (přistřihování, přesné vystřihování, prostřihování, nastřihování aj.) nebo použitím některých přídatných operací (např. kalibrováním), ovšem za cenu zvýšení výrobních nákladů (nástroj, výrobek) [8].

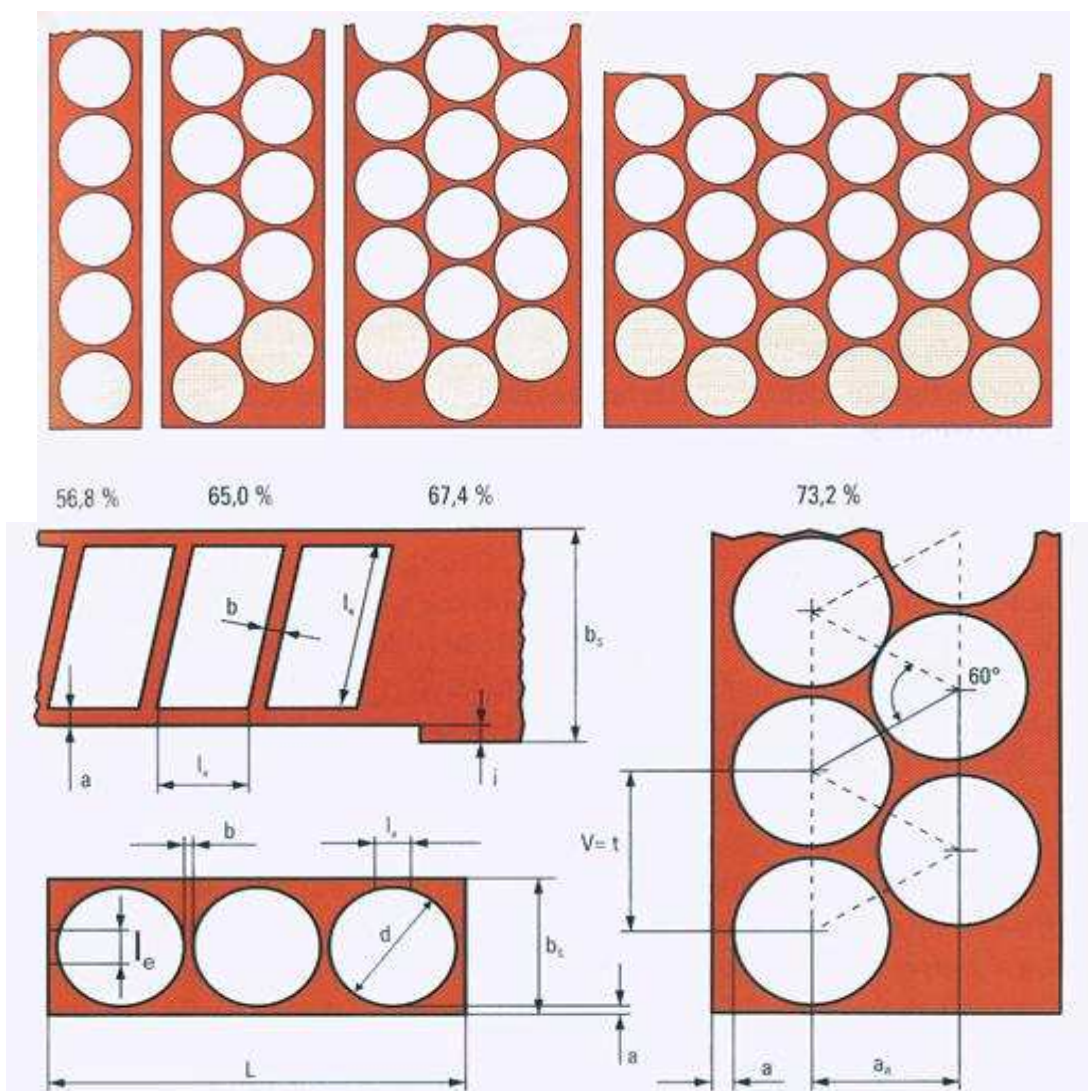
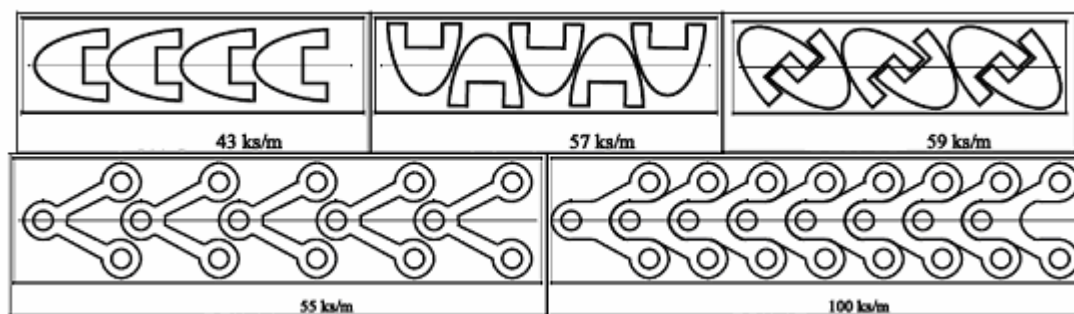
3.1.4 Nástřihový plán

Při stříhání je velmi důležité výstřížky rozmístit na pásu plechu tak, aby odpad byl co nejmenší. Rozmístění výstřížků na pásu plechu je potom označováno jako nástřihový plán. Při stříhání vzniká tzv. *technologický odpad* (závisí na tvaru a uspořádání výstřížku na pásu) a *konstrukční odpad* (závisí na vnějším a vnitřním tvaru součásti). Někdy je nutné pro zvýšení hospodárnosti změnit tvar součásti (po dohodě s konstruktérem). Hospodárné využití materiálu (pásu) se zjišťuje výpočtem součinitele k_m , který má být větší než 0,7 (70%) [1].

$$k_m = \frac{S_v}{S_p} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.6)$$

kde:

k_m	součinitel využití materiálu	[%]
S_v	plocha výstřížků z pásu plechu	[mm ²]
S_p	plocha pásu plechu	[mm ²]



Obr. 3.13 Příklady nástřihových plánů s procentním využitím plechu [14,15]

Další příklady nástřihových plánů jsou uvedeny v příloze 4.

Podíl nákladů na materiál činí 80 až 90% celkových nákladů, proto klíčovým momentem je optimální nástřihový plán. Cílem optimalizace nástřihového plánu je uspořádání, popř. změna konstrukce výstřižku vedoucí k minimálnímu odpadu [15].

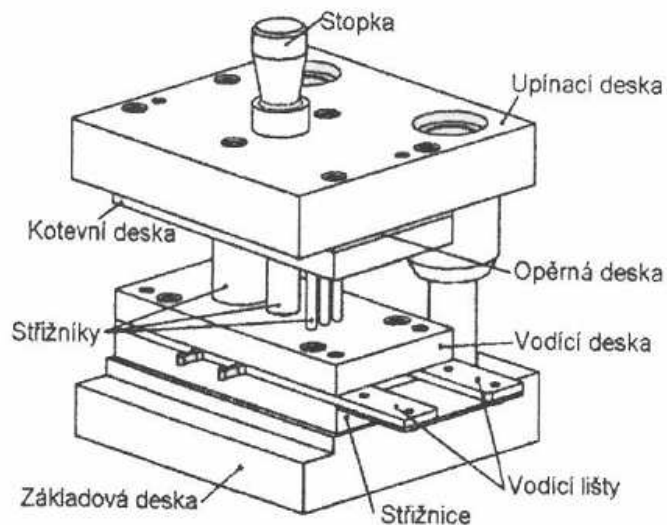
Nejlepší využití plechu jako výchozího materiálu je forma svitků. Oproti tabulím je procento snížení nákladů až 6%, ale ne pro každou součást lze tento polotovár použít a ne všechny firmy jsou vybaveny potřebnými manipulačními prostředky. Šířka plechu se obvykle volí co nejužší, ale s ohledem na některé technologické zásady, jako např. velikost můstků a vzdálenost od okraje (viz. příloha 3) [8].

3.1.5 Nástroje pro stříhání

Nástroje, které se používají pro stříhání se nazývají střížné nástroje. Podle konstrukce nástroje se dá rozpoznat, který materiál se stříhá popřípadě jeho tloušťka apod. Střížné nástroje se dají rozdělit na dvě základní skupiny:

- jednoduché (výrobek je zhotoven na jeden zdvih - z plechu se vystřihne např. jen obdélník).
- postupové (výrobek je zhotoven v několika krocích).
- kombinované, sdružené. Do střížných nástrojů se přidávají prvky umožňující současně i daný výrobek ohýbat, razit atd.

Postupové střížné nástroje jsou nejčastěji používané, protože ve většině případů mají součásti složitější tvar viz obr. 3.14.



Obr.3.8 Příklad postupového stříhadla [14] Obr.3.9 Schéma postupového stříhadla [3]

Pro zhotovení plně funkčního postupového střížného nástroje je potřeba zhotovit několik součástí: střížníky, střížnice, desky (opěrná, kotevní, upínací), vodící lišty, vodící pouzdra, vodící sloupky, upínací stopky, dorazy, hledáčky, pružiny[8].

Střížníky

U střížných nástrojů je možné se setkat se střížníky různých konstrukcí. Všechny by však měly splňovat několik základních předpokladů, které jsou nutné k výrobě kvalitních výstřižků.

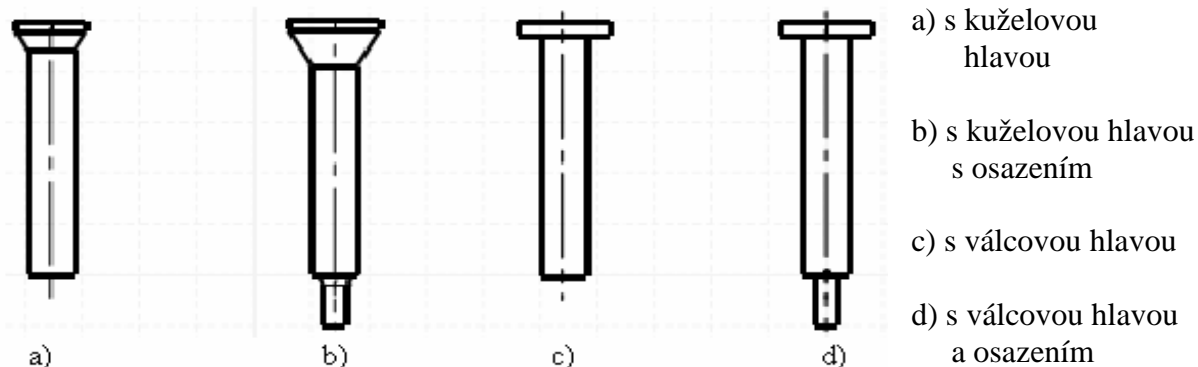
Jsou to:

- tuhost
- kolmé upevnění
- odolnost proti bočním i stíracím silám
- neotupené ostří

Pokud je na nástroji několik střížníků různých průřezů, měly by být střížníky většího průřezu asi o 0,4 násobek tloušťky stříhaného materiálu delší než střížníky menšího průřezu. Touto úpravou se zabrání zlomení střížníku malého průřezu, ke kterému by došlo pružnou deformací materiálu při vnikání střížníku většího průřezu.

Používá se různých druhů střížníků viz obr.3.12. Základním požadavkem u všech je tuhost a kolmost upevnění v kotevní desce. Střížníky se v kotevní desce upevňují roznýtováním, osazením nebo nákrůžky. Pevnost tenkých střížníků se zvětší osazením nebo vkládáním do pouzdra. Délky střížníků jsou 60 až 90mm, odstupňované po 10mm. Střížníky se vyrábí s nástrojových ocelí a tepelně se zpracovávají (kalení a následné popouštění), nebo

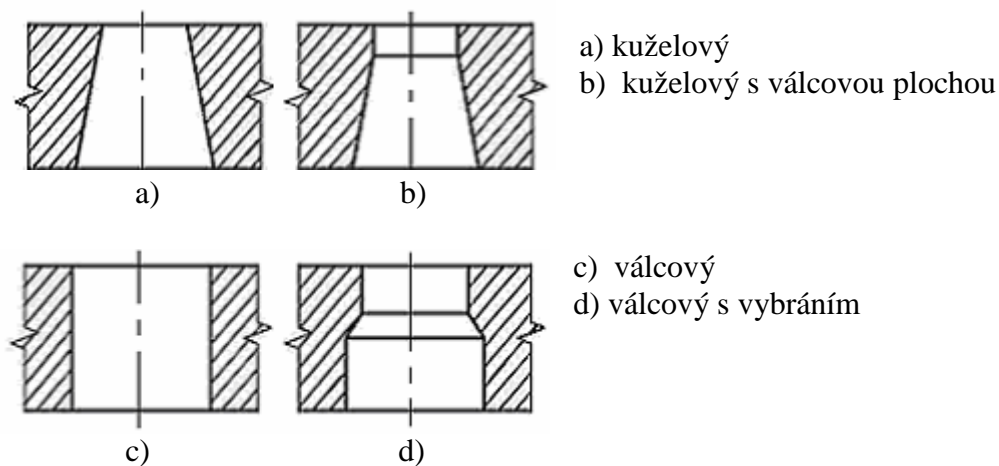
mají činné části ze slinutých karbidů. Některé materiály vhodné pro střížníky : 19 421, 19 436, 19 312, 19 313, 19 601 [16].



Obr.3.12 Střížníky s různým uchycením

Střížnice

Je to nejnákladnější část střížného nástroje, jelikož střížný otvor vyžaduje precizní vypracování. Hlavní střížný otvor děrující a pomocné otvory, mají být rozděleny tak, aby žádný okraj střížnice nebyl zvlášť zeslaben. Tloušťka střížnice se pohybuje zpravidla mezi 18 až 30 mm. Většinou se střížnice zhotovují tak, že střížný otvor sahá do nějaké hloubky a poté je opatřen úkosem (obr.3.13). Hloubka, do jaké sahá střížný otvor je závislá na tloušťce materiálu. Do tloušťky plechu 0,5 mm se volí od 3 do 5 mm, pro plech do tloušťky 5 mm se volí od 5 do 10 mm, pro plech do tloušťky 10 mm se volí od 10 do 15 mm. Tato úprava má tuto výhodu, že při častém přebrušování střížnice neztratí výstřižek rozměrovou přesnost [16].

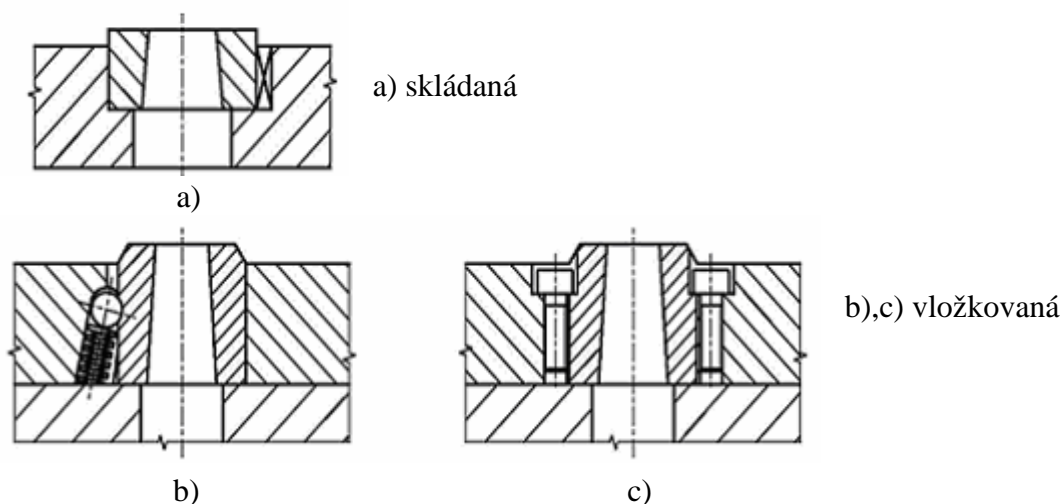


Obr.3.13 Tvary otvorů ve střížnici [17]

Střížnice mohou být:

- celistvé (tj. z jednoho kusu),
- dělené (skládané),
- vložkované.

Kriteriem je velikost a složitost tvaru výstřižku, velikost série, druh nástroje, druh stříhaného materiálu aj. [17].



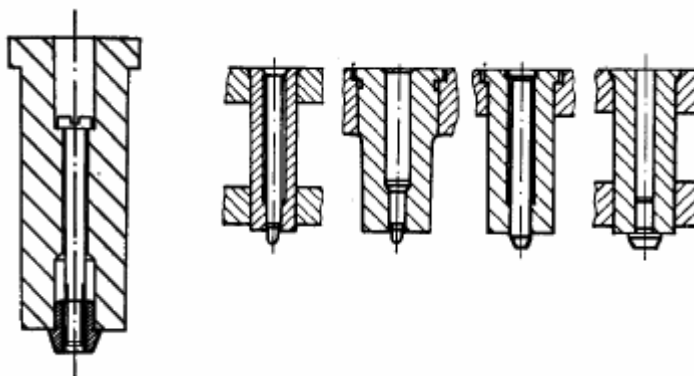
Obr. 3.16 Příklady upínání střížných vložek [17]

Hledáčky

Používají především tam, kde je nutné vystředit pás plechu a tím pádem najít správnou polohu pro vystřížení např. kruhového otvoru. Zvyšuje se tím přesnost vystřihovaných součástí a snižuje se opotřebení nástrojů.

Hledáčky se dělí na :

- hledáčky pro středění přímé (do otvoru z předchozího kroku) viz. obr. 3.17,
- hledáčky pro středění nepřímé (do speciálně vystřížených otvorů) [8].



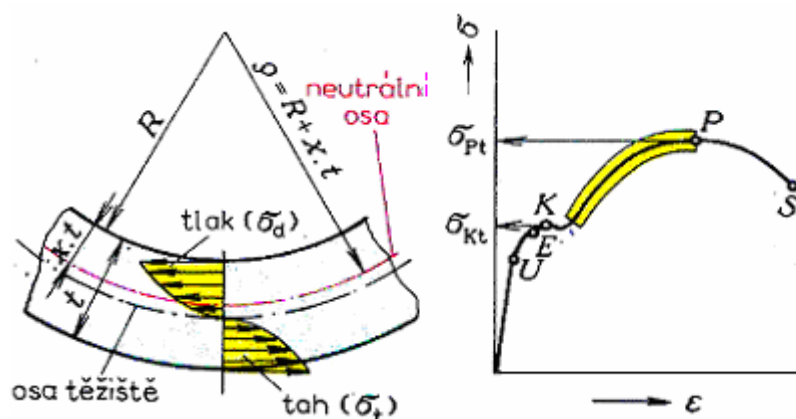
Obr.3.17 Hledáčky pro přímé středění [17]

3.2 Ohýbání

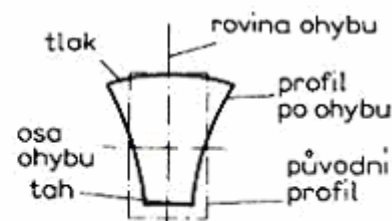
Ohýbání je způsob tváření, při kterém je materiál trvale deformován pod různými úhly ohybu. Je to jeden z druhů plošného tváření, kdy dochází působením ohýbací síly k pružně plastické deformaci materiálu.

Při ohybu jsou průřezy s delší stranou na výšku (obr.3.19) více deformovány než průřezy s delší stranou na ležato.

Plastická deformace má různý průběh od povrchu k neutrální ose (obr. 3.18). Při ohybu vzniká napětí v krajních vláknech tak, že na vnější straně je materiál namáhán na tah a na vnitřní straně na tlak. Kolem střední části průřezu ohýbaného materiálu jsou tahová napětí malá a dosahují meze kluzu. V přechodu mezi tímto pásmem jsou vlákna bez napětí a bez deformace. Jejich spojnice tvoří neutrální osu (plochu), ve které není napětí a která se při ohýbání ani neprodlouží, ani nezkrátí. Neutrální osa je v ohýbané části materiálu posunuta k vnitřní straně ohybu. Není tedy totožná s osou těžiště ohýbaného materiálu. U tenkých plechů není tento rozdíl patrný. Při ohýbání tlustých plechů se však musí s touto okolností počítat. Součinitel „x“, který charakterizuje polohu neutrální osy, závisí na poměru R/s a je uveden v tab. 3.2.



Obr. 3.18 Rozložení a velikost napětí v materiálu [18].



Obr.3.19 Ohyb na stojato [18]

Tab. 3.2 Hodnoty součinitele x charakterizující polohu neutrální osy [19].

R/t	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486

Zjištění polohy neutrální osy (plochy) je důležité zejména k určení výchozího rozměru polotovaru [1].

Poloměr neutrální osy se vypočte dle vztahů:

- 1) pro $\frac{R_0}{t} \geq 12$ pro velký úhel ohybu

$$\rho = R_0 + \frac{t}{2} \quad [\text{mm}] \quad (3.7)$$

kde:

ρ - poloměr neutrální osy [mm]

R_0 - poloměr ohybu [mm]

- 2) pro $R_o \leq 6 \dots\dots\dots$ pro malý úhel ohybu

$$\rho = \left(R_o + \frac{t}{2} \right) \cdot z_z \cdot z_r \quad [\text{mm}] \quad (3.8)$$

kde:

z_z - součinitel ztenčení [-]

z_r - součinitel rozšíření původního průřezu [-]

- 3) pro $b \geq 3 \cdot t \dots\dots\dots$ pro ohýbání širokých pásů plechu

$$\rho = R_o + x \cdot t \quad (3.9)$$

3.2.1 Síla potřebná pro ohyb

Výpočet síly pro ohyb „V“ (obr. 3.20):

$$F_v = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_o} \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \quad [\text{N}] \quad (3.10)$$

kde:

$b \dots\dots\dots$ šířka ohýbaného materiálu [mm]

$R_o \dots\dots\dots$ poloměr ohybu [mm]

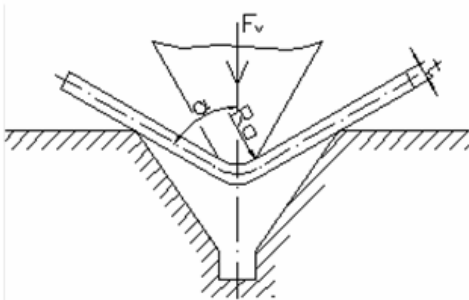
$\alpha \dots\dots\dots$ úhel ohybu [°]

Výpočet síly pro ohyb „U“ (obr. 3.21):

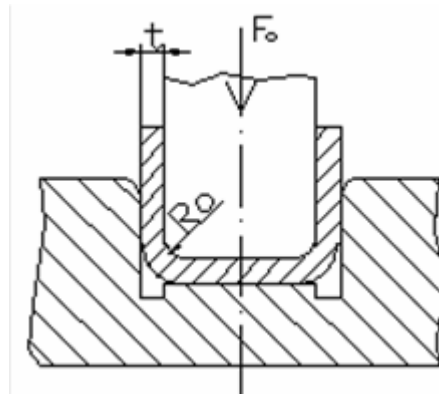
$$F_o = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{R_o + t} \quad [\text{N}] \quad (3.11)$$

kde:

$f \dots\dots\dots$ součinitel tření [-]



Obr. 3.20 Působení síly – V ohyb [19]



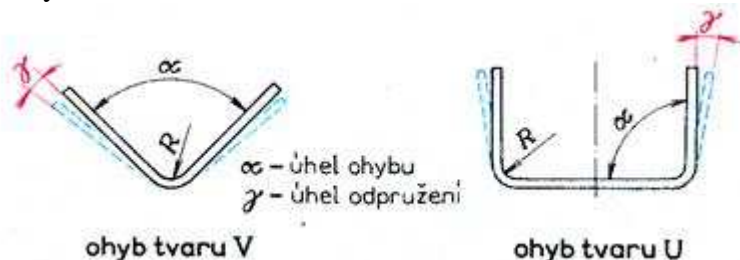
Obr. 3.21 Působení síly – U ohyb [19]

3.2.2 Technologické parametry

Při ohýbání nejsou splněny zjednodušující předpoklady elementární teorie o napěťovém a deformačním stavu. Průřez polotovaru se deformuje a neutrální osa se posouvá (obr.3.18). Součinitel ztenčení stěny v místě ohybu z_z je tím menší, čím větší je úhel ohybu a součinitel tření v kontaktních plochách a čím menší je poloměr ohybu a plasticita materiálu [13].

Úhel odpružení

Pominou-li vnější síly na deformované těleso, rozměry tělesa se částečně vrátí do původních, tj. těleso *odpruží*. Při technologii ohýbání má odpružení značný význam. Odpružení při ohybu se projevuje jako úhlová odchylka γ , jejíž význam roste s délkou ramen. Zpětné odpružení ohýbaných součástí je způsobeno vlivem pružné deformace materiálu kolem neutrální osy. Velikost úhlů odpružení závisí na tvárnosti materiálu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání. Bývá v rozsahu 3 až 15° [18].



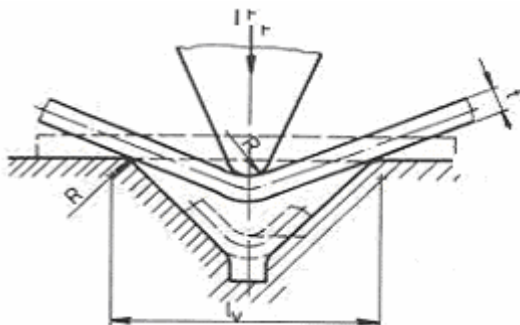
Obr. 3.22 Odpružení materiálu pro ohyb tvaru V a U [18]

Výpočet úhlu odpružení γ pro V – ohyb:

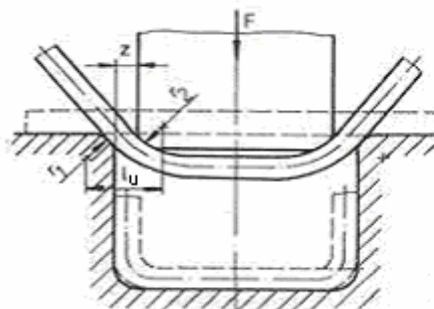
$$\operatorname{tg} \gamma = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k_n \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \Rightarrow \gamma \quad [^\circ] \quad (3.12)$$

kde:

l_v	vzdálenost ohýbacích hran (obr.3.23)	[mm]
k_n	součinitel určující polohu neutrální osy ($k_n = 1-x$)	[-]
x	posunutí neutrální osy (tab.4.1)	[mm]
t	tloušťka ohýbaného materiálu	[mm]
R_e	mez kluzu daného materiálu	[MPa]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]



Obr. 3.23 Ohyb „V“ [19].



Obr.3.24 Ohyb „U“ [19].

Výpočet úhlu odpružení γ pro U – ohyb:

$$\operatorname{tg} \gamma = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k_n \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \Rightarrow \gamma \quad [^\circ] \quad (3.13)$$

kde:

l_u	délka ohýbaného ramene (obr.3.24)	[mm]
r_1	poloměr zaoblení ohybnice	[mm]

Tab.3.3 Hodnoty úhlu odpružení některých materiálů [1]

Materiál	R/t	
	0,8 až 2	>2
320 MPa	1°	3°
Ocel σ_{Pt} 320 až 400 MPa	3°	5°
400 MPa	5°	7°
Mosaz měkká	1°	3°
Mosaz tvrdá	3°	5°
Hliník	1°	3°

Minimální a maximální poloměr ohybu

Minimální poloměr ohybu R_{min} je takový poloměr, při jehož překročení by na vnější tahové straně ohybu došlo k trhlinám. To znamená, že na vnější straně nesmí napětí překročit mez pevnosti v tahu R_m [19].

$$R_{min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_{tmax}} - 1 \right) = c_o \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (3.14)$$

kde:

ε_{tmax} poměrná deformace [-]

c_o koeficient [-]

Maximální poloměr ohybu R_{max} je takový poloměr, kdy se velikost ohýbací síly pohybuje těsně nad mezí kluzu R_e . Po odlehčení zůstane materiál deformován a nevrátí se do původního stavu [19].

$$R_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad [\text{mm}] \quad (3.15)$$

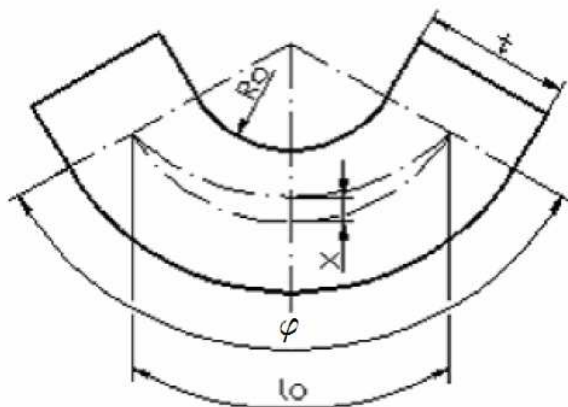
Stanovení výchozí délky

Z délky neutrální osy v ohýbaných částech a z délek rovných úseků se určuje rozvinutá délka polotovaru před ohybem. Délka ohnutého úseku l_o se vypočte dle vztahu:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R_o + x \cdot t) \quad [\text{mm}] \quad (3.16)$$

kde:

φ úhel ohnutého úseku [°]



Obr. 3.25 Ohnutá část – schematicky [19]

Celková délka polotovaru je potom dle vztahu:

$$L_c = \sum_{i=1}^n l_r + \sum_{j=1}^m l_{oj} \quad [\text{mm}] \quad (3.17)$$

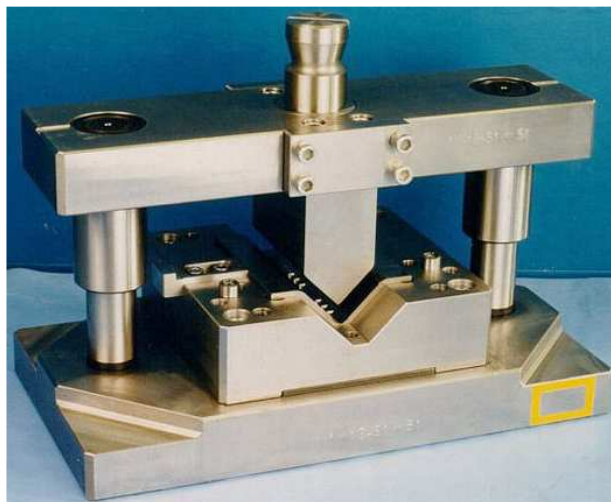
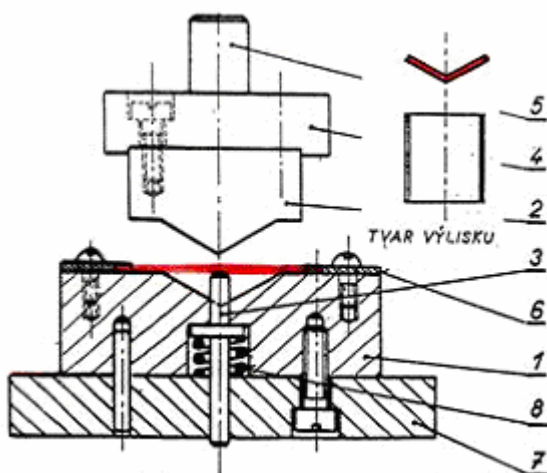
kde:

l_r délka rovinného úseku [mm]

3.2.3 Nástroje pro ohýbání

Hlavní části ohýbacího nástroje jsou ohybník a ohybnice, popř. základací dorazy. Ohýbadla se dělí podle způsobu a technologie ohýbání, nejčastěji pro ohýbání do tvaru U a V. Většinou nejsou samostatná a konstruují se jako nástroje sdružené.

1 - pevná čelist, 2 - pohyblivá čelist, 3 - vyhazovač, 4 – hlavice, 5 –stopka, 6 – základací dorazy, 7 – základová deska, 8 – pružina.



Obr. 3.26 Ukázka nástrojů pro ohyb - schéma (vlevo) -příklad (vpravo) [18]

3.3 Technologičnost výroby součástí

Technologičností výroby se rozumí takový soubor prvků, které zaručují nejvhodnější výrobu při daném stupni sériovosti při dodržení nejjednodušší konstrukce a všech provozních požadavků kladených na součást.

Hlavní ukazatele technologičnosti výroby:

- nejmenší počet operací, především těch, které jsou pracné,
- nejmenší množství potřebných strojů a výrobních ploch,
- nejnižší pořizovací náklady na nářadí a krátkou průběžnou dobu jejich výroby,
- dostatečná životnost nářadí,
- vysoká produktivita práce,
- nízká kvalifikace pracovníků,

Polotovár, ze kterého se díl vyrábí by měl mít vhodný rozměr a tvar, tak aby bylo možné zhotovit díl při malých nákladech, jednoduchými nástroji a v co nejkratší možné době. Přitom musí být dodrženy veškeré technické a provozní požadavky. [4]

3.3.1 Technologičnost konstrukce u stříhání

Technologičnost konstrukce výstřižků je důležitým předpokladem dokonalého technologického postupu a má výrazný vliv na hospodárnost výroby.

Technologičnost konstrukce má uznávat činitele, které ovlivňují proces stříhání:

- nedokonalost procesu stříhání (drsnost atd.),
- mechanická pevnost stříhaného materiálu a funkčních dílů střížného nástroje,
- výrobní možnost střížného nástroje.

Pro plynulou a ekonomickou výrobu výstřižků je nutné dodržovat tyto zásady:

- nezmenšovat tolerance vnějších rozměrů, otvorů a jejich roztečí,
- dávat přednost kruhovým otvorům z důvodu levnější výroby,
- nepředepisovat drsnost střížné plochy, drsnost ustřižené plochy odpovídá přibližně drsnosti hřbetu břitů,
- nepředepisovat kolmost střížné plochy,
- předepisovat jen nezbytnou rovinnost,
- velikost stříhaných otvorů je závislá na tloušťce a druhu materiálu a na konstrukci a typu stříhadla,
- vzdálenost otvorů od okraje výstřižku nebo mezi otvory je uvedena v příloze č.4,
- nejmenší šířka štíhlých výstřižků a šířka vyčnívajících částí nemá být menší než 1,5 tloušťky stříhaného materiálu,
- rohy na výstřižku mají být zaobleny nebo sraženy,
- podle pevnosti stříhaného materiálu je možné doporučit nejmenší úhel rohu:

$$\sigma_p = 600 \text{ MPa} \quad \alpha = 90^\circ$$

$$\sigma_p = 300 \text{ MPa} \quad \alpha = 60^\circ$$

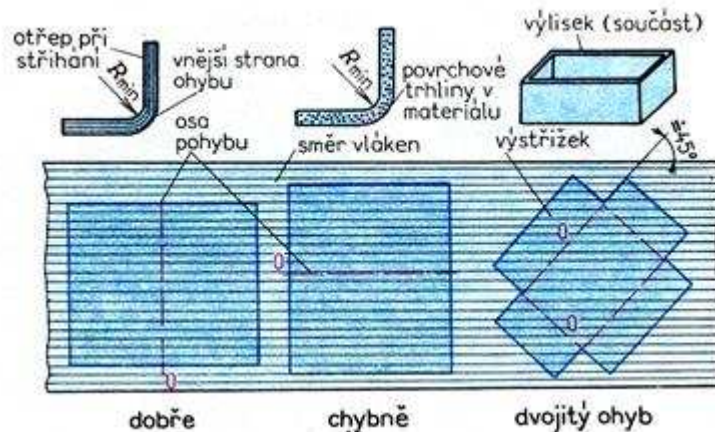
$$\sigma_p = 300 \text{ MPa} \quad \alpha = 45^\circ$$

- při stříhání na nůžkách se volí tvar součásti tak, aby jeho vystřižení vyžadovalo malý počet stříhů,
- z hlediska využití materiálu je nejvhodnější tvar rovnoběžníka,
- kruhový obrys, u kterého je ztráta přibližně 30% materiálu, je nevhodný,
- rozvětvené tvary výstřižků jsou nevhodné [8].

3.3.2 Technologičnost konstrukce u ohýbání

Základní technologické zásady:

- osa ohybu má směřovat kolmo na směr vláken (viz.obr.4.1),
- volný ohyb nahradit ohýbáním s kalibrací,
- vznik přídavného napětí vlivem natažení ohýbané součásti,
- při nesterajně dlouhých a širokých ramenech ohýbaných součástí dochází k posunutí místa ohybu, toto posunutí se řeší pomocí kolíků v ohybníku, které se zasunou do technologických otvorů v plechu,
- nejmenší délka ohýbaného ramene má být dvojnásobek šířky plechu,
- v místě ostrého ohybu (poloměr ohybu se blíží k nule) je důležité vytvořit dostatečný objem kovu s následným kalibrováním tohoto úhlu,
- u materiálů s velkou anizotropií je nutné vytvořit v místě ohybu ztužující prolisy nebo je vyztužit žebry [19].



Obr. 3.27 Vliv vláken na ohýbání [18]

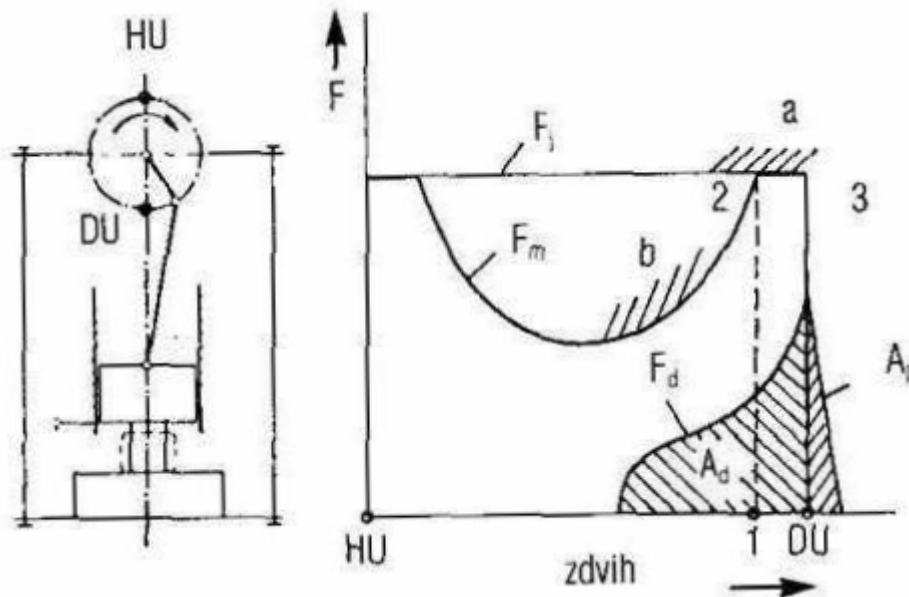
3.4 Tvářecí stroje

Pro technologii tváření se využívají univerzální tvářecí stroje – lisy nebo jednoúčelové stroje uzpůsobené pro konkrétní způsob tváření. Volba vhodného stroje je závislá na velikosti série výstřižků, na geometrii výstřižku a požadované jakosti střižných ploch.

3.1 Mechanické lisy

Mechanické lisy jsou nejpoužívanější tvářecí stroje pro různé tvářecí operace. Tyto lisy mají vysokou produktivitu výroby, jsou poměrně jednoduché, avšak z technologického hlediska je nevýhoda, že maximální tvářecí sílu lze odebrat až těsně před dolní úvratí. Vzhledem k této skutečnosti je obtížné tváření velkou silou po delší dráze. Lis může být zatížen pouze takovou silou, která nepřevýší sílu jmenovitou, aby nedošlo k porušení stroje. Základní pohon je realizován pomocí klikového mechanismu. Ostatní jsou odvozené nebo kombinované.

Ve schématu klikového mechanismu (obr.3.28) je znázorněna situace, kdy začíná lisování – start křivky síly F_d v pracovním diagramu. Úsek 1, DU odpovídá jmenovitému úhlu α_j natočení kliky před DU u kovací lisů bývá α_j maximálně $5 \div 10^\circ$. Proti přetížení systému beran-ojnice-klika-rám (oblast a znázorňuje překročení síly F_j) jsou např. v beranu pod ojnicí umístěny tlakové střižné pojistky. Plocha 1, 2, 3, DU vyjadřuje jmenovitou práci lisu A_j , která když se porovná s kovací prací A_d , může se stanovit využitelnost lisu za trvalého chodu [17].



Obr.3.28 Schéma klikového mechanismu lisu [17]

3.2 Hydraulické lisy

Hydraulické lisy pracují na základě poznatku o rovnoměrném šíření tlaku všemi směry (Pascalův zákon). Jsou používány v mnohem menší míře, než lisy mechanické. Síla na beranu je vyvozována pomocí hydraulického válce. Hydraulické lisy se využívají pro speciální tvářecí operace, při kterých je využívána hlavní přednost těchto strojů, jíž je konstantní lisovací síla působící v celém rozsahu pohybu beranu a také možnost vyvinutí vyšších tvářecích sil.



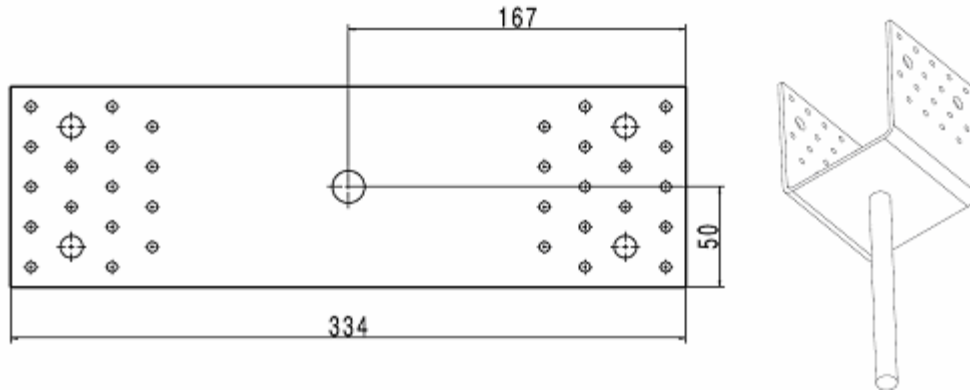
Obr. 3.29 Mechanický lis [18]



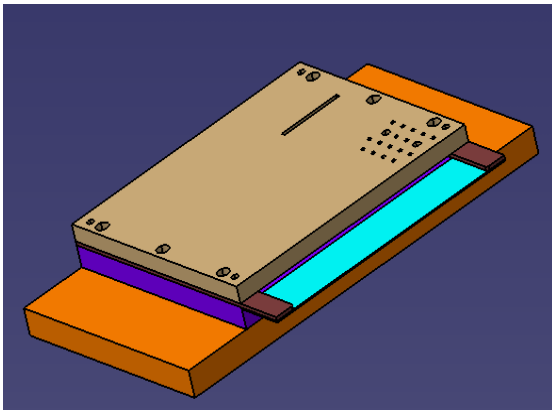
Obr. 3.30 Hydraulický lis [18]

4 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE

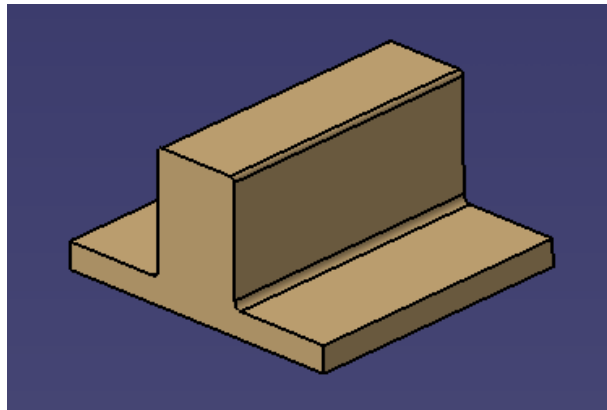
Výrobek má v rozvinutém tvaru rozměry 334mm x 100mm, má 32 otvorů pro závrtné šrouby a 4 otvory pro závitové tyče. Je ohnutý do tvaru písmene „U“ a jeho výroba byla navržena z plechu tloušťky 4 mm. Z možných způsobů výroby, které byly uvedeny v kapitole 2.1, byla pro zadanou součást na obr.2.1, navržena technologie postupového stříhání a ohýbání ve sruženém nástroji. Tato metoda je výhodná při velkých sériích. Byly brány v úvahu také pořizovací náklady na nástroj. Součást lze vyrobit také zvlášť v postupovém stříhadle a zvlášť v ohýbadle jak je uvedeno níže (viz. obr.4.2, obr.4.3).



Obr.4.1 Zadaná součást – rozvinutý tvar



Obr. 4.2 Postupový střížný nástroj



Obr. 4.3 Ohybový nástroj - ohybnice

Pro námi vyráběnou sérii 600 000 kusů byl navržen sružený nástroj. Tato varianta je z důvodu manipulace s pásy plechu nejvhodnější. Pro vyráběnou součást byl zvolen materiál - ocel 11 321.1. Jako polotovaru by bylo možné použít i svitek plechu, ale z důvodu vysokých nákladů na pořízení odvíjecího zařízení nebyla tato varianta navržena.

Výpočet rozvinuté délkyStanovení délky l_1 (viz. obr.3.2)

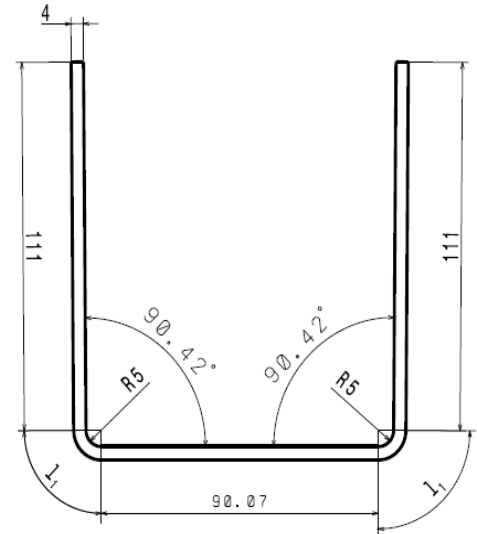
Dle tab. 4.1: $\frac{R_1}{t} = \frac{5}{4} = 1,25 \Rightarrow x = 0,42$

Dle vztahu (3.16):

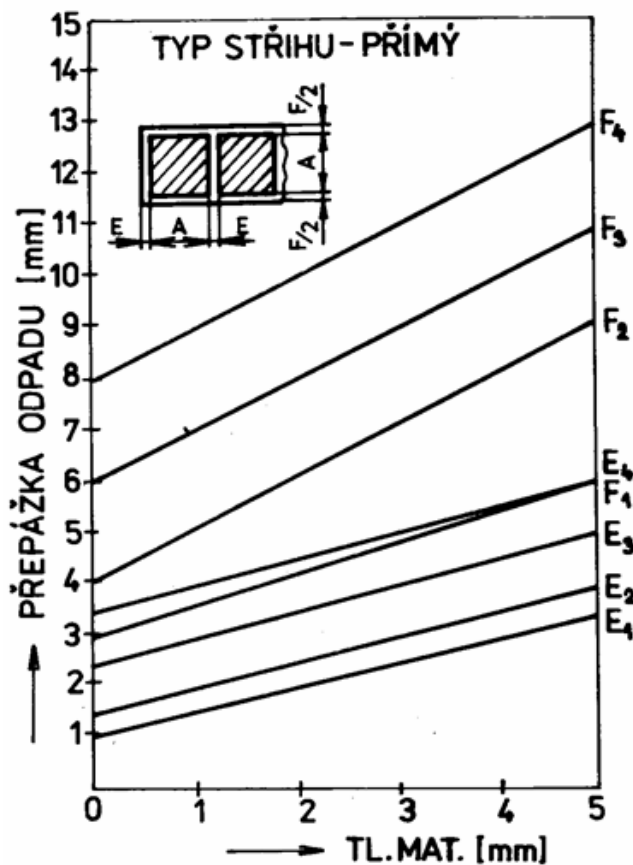
$$\frac{\pi \cdot \varphi}{180^\circ} \cdot (R_1 + x \cdot t) = \frac{\pi \cdot 90,42}{180} \cdot (5 + 0,42 \cdot 4) = 10,54 \text{ mm}$$

Výpočet rozvinuté délky součásti (viz. obr.4.4)

$$L_c = 2 \cdot 111 + 2 \cdot l_1 + 90,07 = 222 + 2 \cdot 10,54 + 90,07 = 333,54 \approx 334 \text{ mm}$$

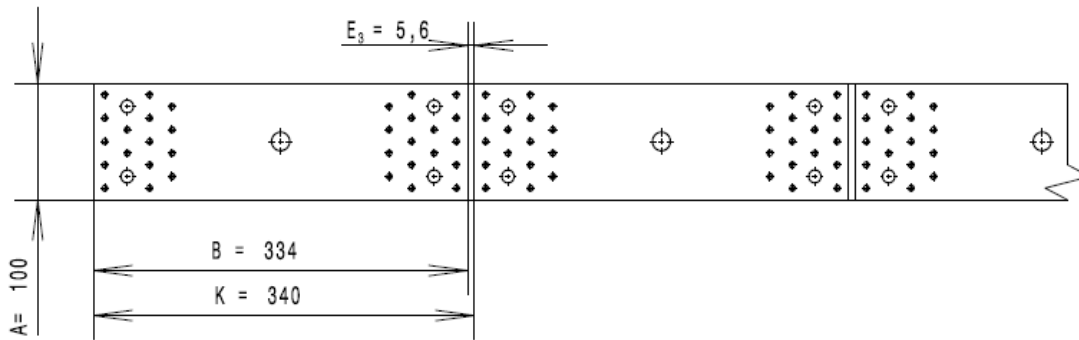


Obr. 4.4 Schéma pro výpočet délky

Orientace a uspořádání součástí na pásu plechu

A[mm]	Příslušné E,F
do 15	E ₁ ,F ₁
15-50	E ₂ ,F ₂
50-100	E ₃ ,F ₃
> 100	E ₄ ,F ₄

Obr.4.5 Stanovení šířek odpadu u výstřižků [17]

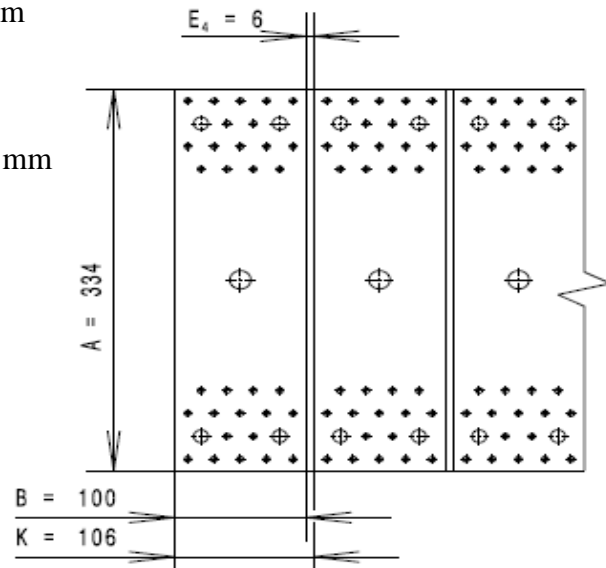
Varianta I.

Obr. 4.6 Varianta I. stříhání

Dle obr. 4.5 je zvolena šířka přepážky $E_3 = 5,6$ mm
 Šířka výstřižku $A = 100$ mm (šířka pásu plechu)
 Délka výstřižku $B = 334$ mm
Velikost kroku
 $K = B + E_3 = 334 + 5,6 = 339,6 \cong 340$ mm

Varianta II.

Dle obr. 4.5 je zvolena šířka přepážky $E_4 = 6$ mm
 Šířka výstřižku $A = 334$ mm
 Délka výstřižku $B = 100$ mm
Velikost kroku
 $K = B + E_4 = 100 + 6 = 106$ mm



Obr. 4.7 Varianta II. stříhání

Umístění výstřižků na pruhu plechu

Varianta I. (Obr. - orientace pásů na tabuli plechu 1)

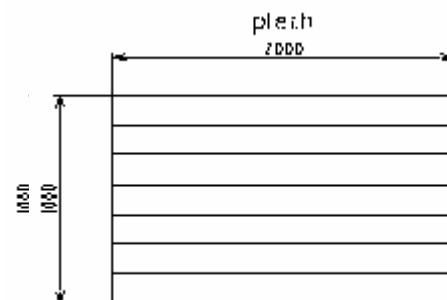
$$K = 340 \text{ mm}$$

$$A = 100 \text{ mm}$$

$$P_p = \frac{\text{šířka}}{A} = \frac{1000}{100} = 10 = 10 \text{ pásů}$$

$$P_v = \frac{\text{délka}}{K} = \frac{2000}{340} = 5,88 = 5 \text{ ks}$$

$$P_{\text{vtab}} = P_p \times P_v = 10 \times 5 = 50 \text{ ks}$$



Orientace plechu 1

Varianta I. (Obr. – orientace pásů na tabuli plechu 2)

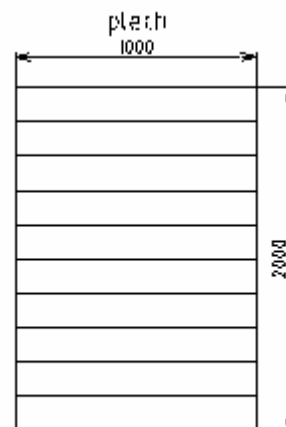
$$K = 340\text{mm}$$

$$A = 100\text{mm}$$

$$P_p = \frac{\text{šířka}}{A} = \frac{2000}{100} = 20 = 20\text{pásů}$$

$$P_v = \frac{\text{délka}}{K} = \frac{1000}{340} = 2,9 = 2\text{ks}$$

$$P_{\text{vtab}} = P_p \times P_v = 20 \times 2 = 40\text{ks}$$



Orientace plechu 2

Varianta II. (Obr. - orientace pásů na tabuli plechu 1)

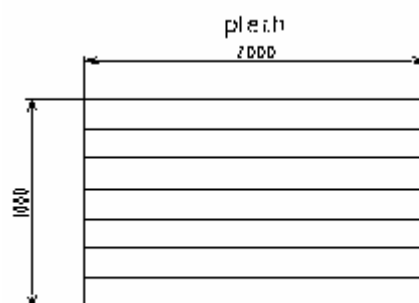
$$K = 106\text{mm}$$

$$A = 334\text{mm}$$

$$P_p = \frac{\text{šířka}}{A} = \frac{1000}{334} = 2,99 = 2\text{pásy}$$

$$P_v = \frac{\text{délka}}{K} = \frac{2000}{106} = 18,87 = 18\text{ks}$$

$$P_{\text{vtab}} = P_p \times P_v = 2 \times 18 = 36\text{ks}$$



Orientace plechu 1

Varianta II. (Obr. - orientace pásů na tabuli plechu 2)

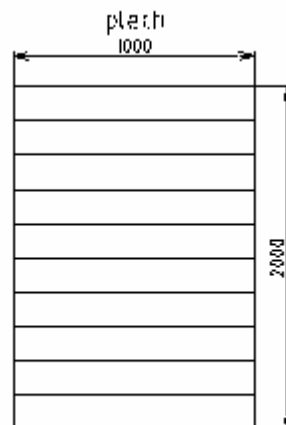
$$K = 106\text{mm}$$

$$A = 334\text{mm}$$

$$P_p = \frac{\text{šířka}}{A} = \frac{2000}{334} = 5,99 = 5\text{pásů}$$

$$P_v = \frac{\text{délka}}{K} = \frac{1000}{106} = 9,43 = 9\text{ks}$$

$$P_{\text{vtab}} = P_p \times P_v = 5 \times 9 = 45\text{ks}$$



Orientace plechu 2

Ekonomické využití plechu

Vzhledem ke konstrukci střížného nástroje a manipulaci s pásy plechu je zvolena varianta II. s orientací tabule plechu 2.

$$\text{Využití plechu} \quad k_m = \frac{S_v}{S_p} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.1)$$

$$k_m = \frac{106 \cdot 334 \cdot 45}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = \frac{1593180}{2 \cdot 10^6} = 79,66 \%$$

Výpočet spotřeby materiálu

Pro námi potřebné množství série 60000 kusů výstřižků je potřeba níže uvedené množství plechu tl. 4 mm ve formátu 2m x 1m. Pro výrobu by bylo možné použít i polotovary - plech ve svitku, ale vzhledem k hmotnosti jednotlivých pásů plechu a manipulaci s nimi tato varianta nebyla uvažována.

$$m_1 = 2 \cdot 1 \cdot 0,004 \cdot 7850 = 62,8 \text{ kg}$$

kde:

m_1 hmotnost jedné tabule plechu

$$P = \frac{Q}{q} \quad [\text{ks}] \quad (4.2)$$

$$P = \frac{600000}{45} = 13333,4 \approx 13334 \text{ tabulí}$$

kde:

P celkový počet tabulí plechu [ks]

Q série [ks]

q počet ks z tabule [ks]

$$m_c = P \cdot m_1 \quad [\text{kg}] \quad (4.3)$$

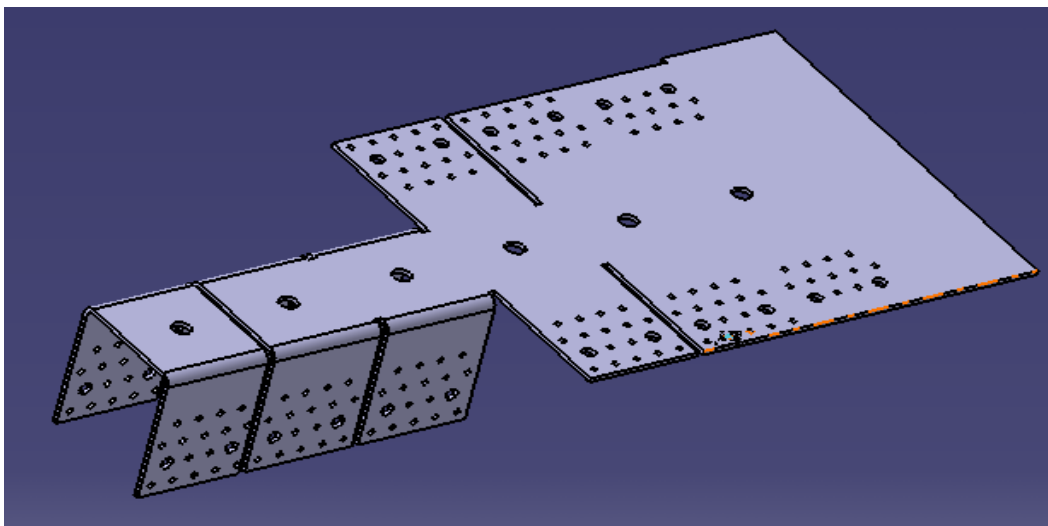
$$m_c = 13334 \cdot 62,8 = 837375,2 \approx 838 \text{ t}$$



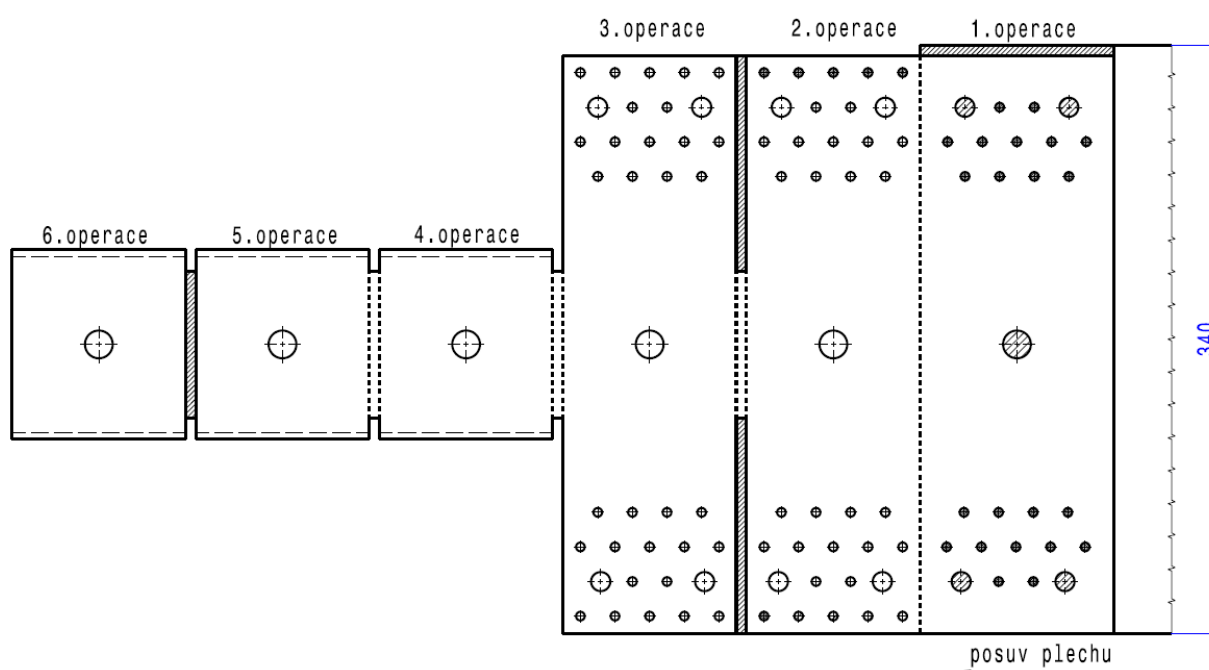
Obr. 4.8 Tabule plechu [5]

Návrh postupu stříhání

Tváření (stříhání a ohýbání) bude probíhat v šesti operacích. V první operaci bude odstřižen kraj plechu a zároveň některé otvory. Ve druhé bude zahledán technologický otvor Ø 16 mm, odstřiženy dva otvory potřebné pro ohýbání a zbytek otvorů Ø 5,5mm. Ve třetí operaci dojde k odstřižení stejných otvorů pro ohýbání jako ve druhé operaci s tím, že se tentokrát jedná o druhou stranu součásti. Ve čtvrté operaci dojde k ohnutí součásti. V páté operaci se odstříhne s zbytek předního dílu součásti a v poslední operaci se odstříhne zadní díl součásti (obr. 4.10)



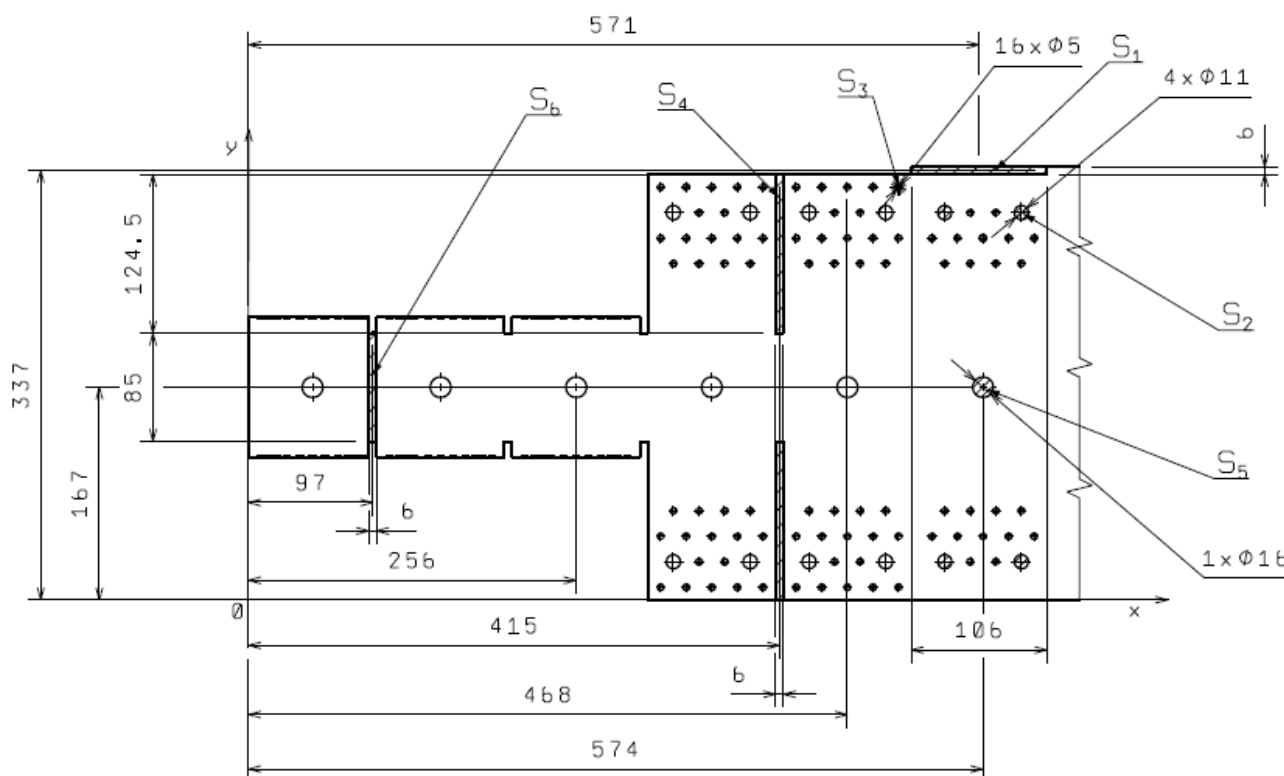
Obr. 4.9 Prostorový pohled na tvářenou součást



Obr. 4.10 Postup při tváření

4.1 Výpočet parametrů potřebných pro konstrukci a výrobu

Střížná plocha



Obr.4.11 Střížná plocha (potřebné rozměry)

$$S_1 = 896,00\text{mm}^2$$

$$S_2 = 138,23\text{mm}^2$$

$$S_{2\text{celk.}} = S_2 \cdot 4 = 552,92\text{mm}^2$$

$$S_3 = 62,83\text{mm}^2$$

$$S_{3\text{celk.}} = S_3 \cdot 32 = 2010,60\text{mm}^2$$

$$S_4 = 1044\text{mm}^2$$

$$S_{4\text{celk.}} = S_4 \cdot 2 = 2088\text{mm}^2$$

$$S_5 = 201\text{mm}^2$$

$$S_6 = 728\text{mm}^2$$

$$S_{\text{celk.}} = S_1 + S_{2\text{celk.}} + S_{3\text{celk.}} + S_{4\text{celk.}} + S_5 + S_6 = 896 + 553 + 2011 + 2088 + 201 + 728 = 6477\text{mm}^2$$

Výpočet střížné síly

Dle vztahu (3.1) $F_s = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot s \cdot \tau_s$ dle tabulky 2.2 je zvoleno $R_m=410\text{MPa}$.

$$F_1 = n \cdot S_1 \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 896 \cdot 0,8 \cdot 410 = 382054\text{N} = 382,05\text{kN}$$

$$F_2 = n \cdot S_{2\text{celk.}} \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 552,92 \cdot 0,8 \cdot 410 = 235765\text{N} = 235,77\text{kN}$$

$$F_{3(1\text{operace})} = n \cdot S_3 \cdot 22 \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 62,83 \cdot 22 \cdot 0,8 \cdot 410 = 589396\text{N} = 589,40\text{kN}$$

$$F_{3(2\text{operace})} = n \cdot S_3 \cdot 10 \cdot 0,8 \cdot R_m = 267907\text{N} = 267,91\text{kN}$$

$$F_4 = n \cdot S_{4\text{celk.}} \cdot 0,8 \cdot 410 = 1,3 \cdot 2088 \cdot 0,8 \cdot 410 = 890323\text{N} = 890,32\text{kN}$$

$$F_5 = n \cdot S_5 \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 201 \cdot 0,8 \cdot 410 = 85706\text{N} = 85,71\text{kN}$$

$$F_6 = n \cdot S_6 \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,3 \cdot 728 \cdot 0,8 \cdot 410 = 310419\text{N} = 310,42\text{kN}$$

$$F_{\text{Scelk.}} = F_1 + F_2 + F_{3(1\text{operace})} + F_{3(2\text{operace})} + F_4 + F_5 + F_6$$

$$F_{\text{Scelk.}} = 382,05 + 235,77 + 589,40 + 267,91 + 890,32 + 85,71 + 310,42 = 2761,57\text{kN}$$

Výpočet střížné práce

Dle vztahu (3.2):

$$A = \lambda \cdot F_{\text{scelk.}} \cdot t = 0,4 \cdot 2761,57 \cdot 4 = 4418,51\text{J}$$

Dle obr. 3.8 byl zvolen součinitel plnosti materiálu $\lambda = 0,4$

Výpočet střížné vůle

Dle vztahu (3.5):

$$m_s = \frac{v}{2} = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,006 \cdot 4 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 410} = 0,139$$

$$v = 2 \cdot 0,139 = 0,28\text{mm}$$

Výpočet úhlu odpružení

Dle vztahu (3.13):

$$\text{tg}\gamma = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k_n \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{(5+5+1,2 \cdot 4) \cdot 280}{(1-0,42) \cdot 4 \cdot 210000} = 0,0073 \Rightarrow \gamma = 0,41825^\circ = 0,25'$$

Dle obr. 7.9: $l_u = 5 + 5 + 1,2 \cdot 4$

Dle tab. 2: $R_e = 280\text{MPa}$.

Dle lit. [24]: $E = 210000\text{MPa}$.

Výpočet ohybové síly

Dle vztahu (3.11) pro „U“ ohyb $F_o = (1 + 7 \cdot f) \cdot \frac{b \cdot t^2 \cdot R_e}{R_o + t}$ je zvoleno pro materiál ocel 11 321.1

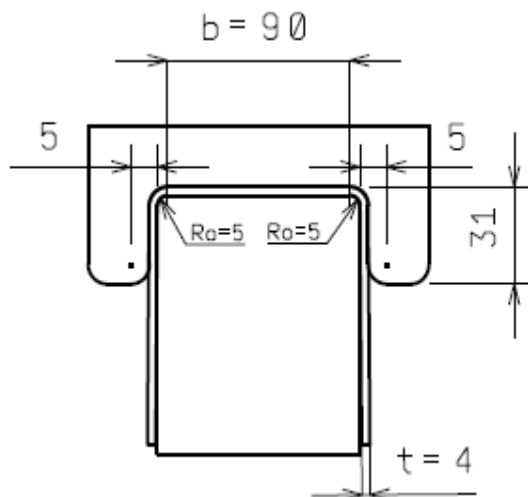
$R_e = 280\text{MPa}$ dle tabulky 2.2.

$$F_o = (1 + 7 \cdot 0,1) \cdot \frac{90 \cdot 4^2 \cdot 280}{5 + 4} = 1,7 \cdot \frac{90 \cdot 4^2 \cdot 280}{9} = 76160\text{N}$$

Výpočet ohybové práce

$$A_o = \frac{F_o \cdot h}{2 \cdot 1000} = \frac{76160 \cdot 31}{2000} = 1180,5J \quad (4.1)$$

Dle obr. 4.12: $h = 31\text{mm}$



Obr.4.12 Schéma pro výpočet
úhlu odpružení ohybové síly
a ohybové práce

Výpočet těžiště

Dle vztahu (3.3) a (3.4)

$$x_T = \frac{F_1 \cdot x_{T1} + F_2 \cdot x_{T2} + F_{3(1operace)} \cdot x_{T2} + F_{3(2operace)} \cdot x_{T3} + F_4 \cdot x_{T4} + F_5 \cdot x_{T2} + F_6 \cdot x_{T6} + F_o \cdot x_{To}}{F_{Scelk.} + F_o}$$

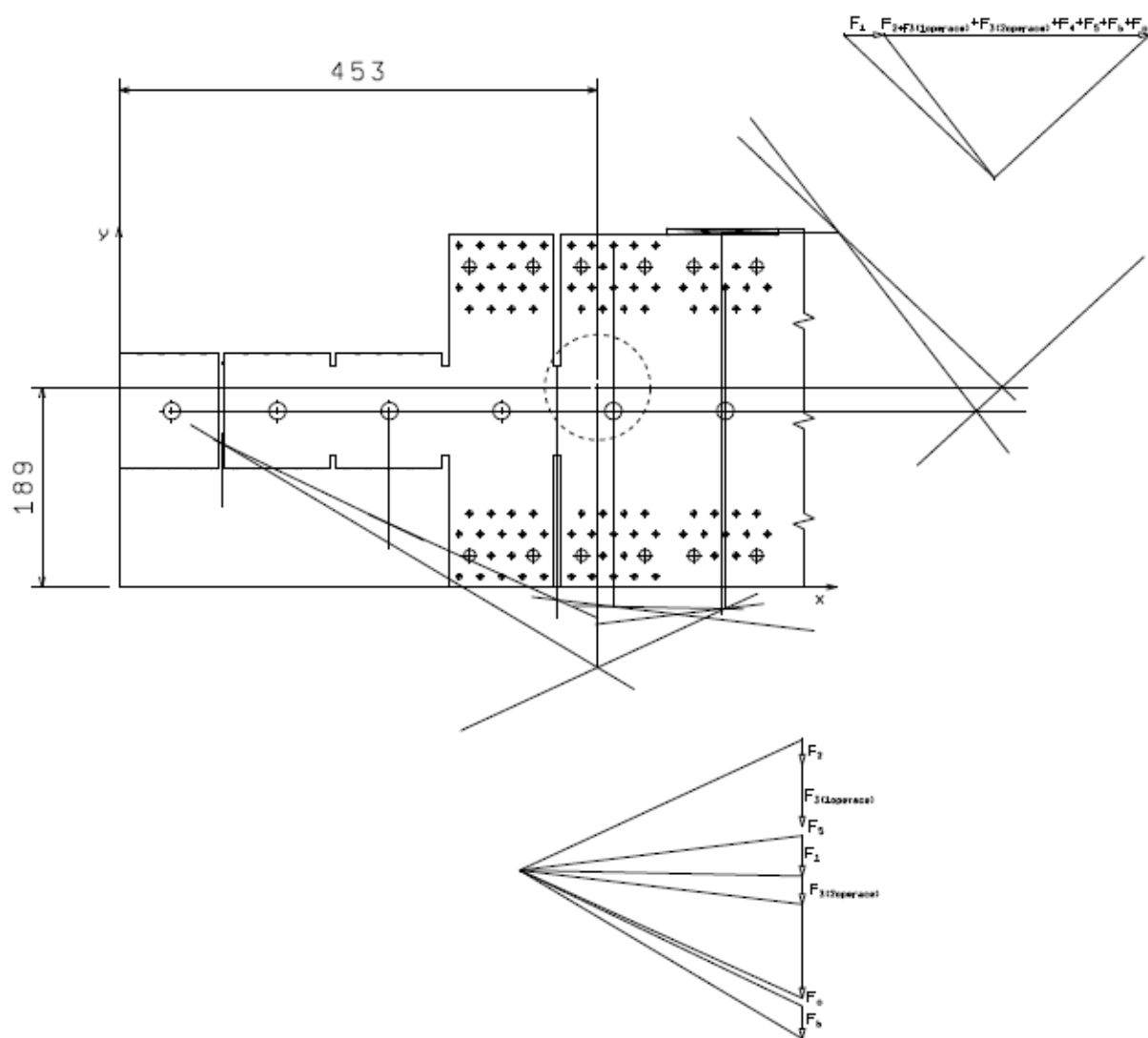
$$x_T = \frac{218153 + 135329 + 338310 + 125380 + 369484 + 49195 + 30111 + 19497}{2838}$$

$$x_T = 452,94\text{mm}$$

$$y_T = \frac{F_1 \cdot y_{T1} + (F_2 + F_{3(1operace)} + F_{3(2operace)} + F_4 + F_5 + F_6 + F_o) \cdot y_{T2}}{F_s + F_o}$$

$$y_T = \frac{128752 + 244,57 \cdot 167}{2838}$$

$$y_T = 189,28\text{mm}$$

Grafické určení polohy stopky

Obr. 4.13 Grafické určení těžiště

Kontrola střížníků na vzpěr

Při kontrole střížníků na vzpěr hraje roli jejich délka. U slabých a dlouhých střížníků může dojít k vybočení ze své osy.

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\text{min}}}{k \cdot F_s}} \quad (4.2)$$

kde:

I_{min} minimální kvadratický moment průřezu [mm^4]

l_{krit} kritická délka střížníku [mm]

k koeficient bezpečnosti (1,2 až 1,5) [-]

Kvadratické momenty pro jednotlivé střížníky: $I_{\text{min}1} = 1908 \text{mm}^4$, $I_{\text{min}2} = 718,7 \text{mm}^4$, $I_{\text{min}3} = 44,9 \text{mm}^4$, $I_{\text{min}4} = 2241 \text{mm}^4$, $I_{\text{min}5} = 3217 \text{mm}^4$, $I_{\text{min}6} = 1530 \text{mm}^4$.

$$l_{\text{krit}1} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1908}{1,3 \cdot 382054}} = 90 \text{mm}$$

$$l_{\text{krit}2} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 718,7}{1,3 \cdot 58940}} = 141 \text{ mm}$$

$$l_{\text{krit}3} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 44,9}{1,3 \cdot 26800}} = 56 \text{ mm}$$

$$l_{\text{krit}4} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2241}{1,3 \cdot 445160}} = 91 \text{ mm}$$

$$l_{\text{krit}5} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 3217}{1,3 \cdot 85706}} = 247 \text{ mm}$$

$$l_{\text{krit}6} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 1530}{1,3 \cdot 310419}} = 90 \text{ mm}$$

Z těchto výpočtů vyplývá, že délka střížníků by neměla překročit 56mm.

Kontrola střížníků na otláčení

$$\sigma_{\text{TL}} = \frac{F_s}{S} \leq \sigma_{\text{dov}} \quad (4.3)$$

kde:

F_s	střížná síla daného střížníku	[N]
S	obsah plochy střížníku na opěrné desce	[mm ²]
σ_{TL}	napětí v tlaku	[MPa]
σ_{dov}	dovolené napětí v tlaku	[150 MPa]

$$\sigma_{\text{TL}} = \frac{F_{s1} \cdot k}{S_1} = \frac{382054}{1000} \cong 497 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{TL}} = \frac{F_{s2} \cdot k}{S_2} = \frac{73675}{95} \cong 416,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{TL}} = \frac{F_{s3} \cdot k}{S_3} = \frac{33500}{71} \cong 471 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{TL}} = \frac{F_{s4} \cdot k}{S_4} = \frac{556450}{985} \cong 565 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{TL}} = \frac{F_{s5} \cdot k}{S_5} = \frac{107132}{314} \cong 341 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{TL}} = \frac{F_{s6} \cdot k}{S_6} = \frac{388024}{890} \cong 436 \text{ MPa}$$

Vzhledem k tomu, že $\sigma_{\text{TL}} \geq \sigma_{\text{dov}}$, je nutné opěrnou desku kalit čímž se dosáhne $\sigma_{\text{dov}} = 1200 \text{ MPa}$ a tato hodnota splňuje pevnostní podmínku.

4.2 Návrh stroje a nástroje

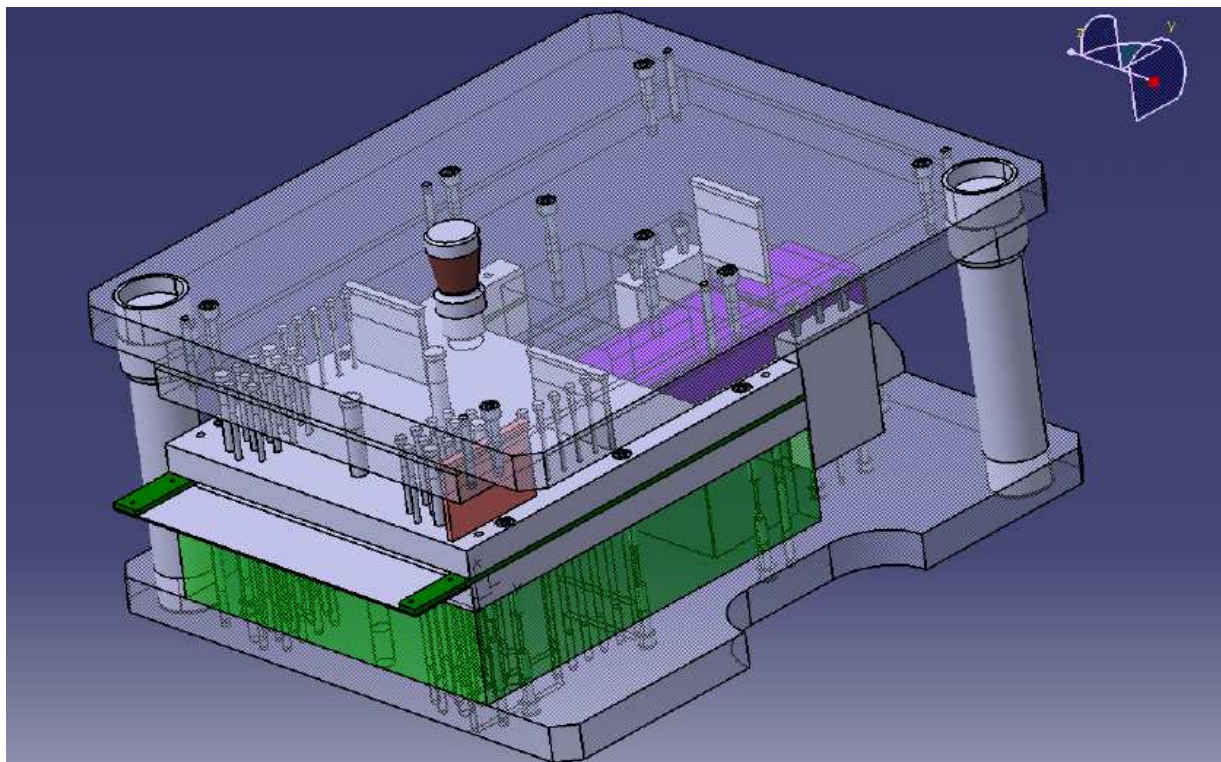
Na základě výše uvedených výpočtů a to zejména velikosti střížné síly, střížné práce, návrhu postupu stříhání a zadaného počtu výstřížků byl navržen tvářecí stroj CDCH 3000 P.

Max. lisovací síla	kN	3000
Vzdálenost stůl – beran (a)	mm	515
Nastavení zdvihu	mm	180
Zdvihy za min.	1/min.	25
Nastavení beranu	mm	140
Rozměr beranu (p,r)	mm	1460 x 1090
Velikost stolu (g,f)	mm	1200 x 1000
Otvor stolu (průměr)	mm	355
Tloušťka zesilovací desky stolu (e)	mm	140
Výška lisu	mm	4600
Hloubka lisu	mm	1950
Šířka lisu	mm	2600
Hmotnost	kg	21500
Příkon motoru	kW	22
Rychlost motoru	1/min.	1450

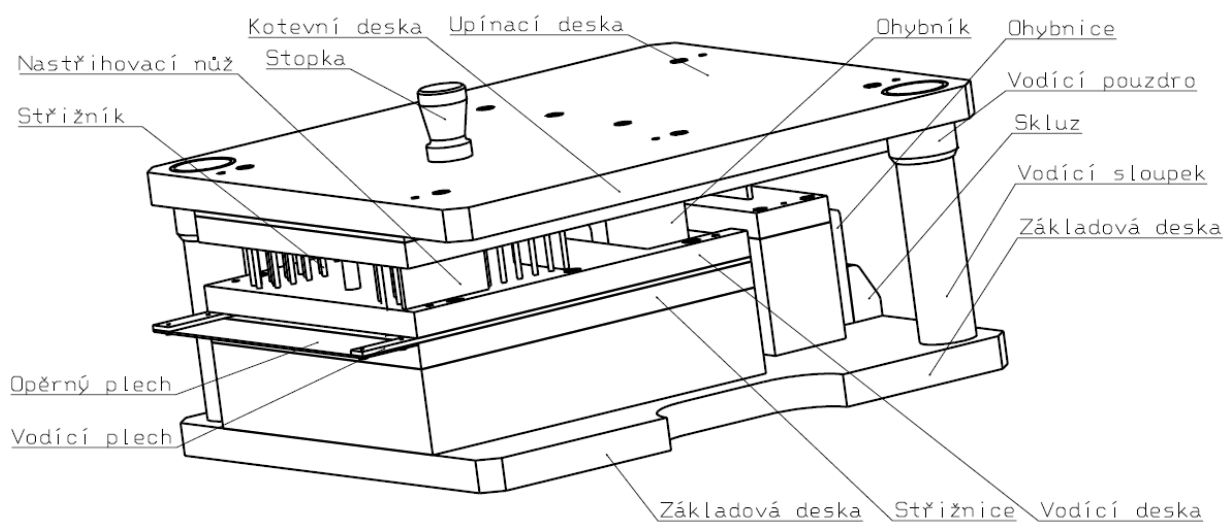


Tab.4.1 Technické parametry lisu CDCH 3000P

Byl navržen střížný nástroj jehož detailní rozkreslení je v příloze č. 10 (číslo výkresu DP/2011/VKP3), viz. obr. 4.14. V příloze č.7 jsou uvedeny upřesňující údaje k excentrickému lisu CDCH 3000P.



Obr.4.14 Sdružený tvářecí nástroj



Obr.4.15 Schéma sdruženého nástroje s popisem jeho hlavních částí

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

5.1 Technické hodnocení

Na základě získaných informací o technologii stříhání a ohýbání byla navržena technologie postupového stříhání a ohýbání.

Z možných polotovarů – tabule plechu nebo svitek plechu byly zvoleny, vzhledem k manipulaci, tabule plechu.

Při návrhu technologie byly provedeny výpočty střížných sil, střížné práce, střížné vůle, ohybové síly, ohybové práce a byla provedena kontrola střížníků na vzpěr a na otláčení. Z vypočtených hodnot tvářecích sil byl určen výstředníkový lis CDCH 3000 P, který daným požadavkům vyhovuje.

Byla vypracovány dvě varianty umístění součásti na pásu plechu. První varianta, která je znázorněna na obr. 4.6, je návrh uspořádání součásti na pásu plechu v němž délka kroku je 340mm. Druhá varianta je na obr. 4.7, kde je délka kroku 106mm. Vzhledem k pracnosti a manipulaci s polotovarem při variantě I. byla zvolena varianta II. Tento způsob uspořádání byl zvolen také z důvodu lepšího využití materiálu které je v tomto případě 79,66%.

5.2 Ekonomické hodnocení

Tato kapitola bude věnována ekonomickému zhodnocení výroby kotevního prvku metodou postupového stříhání a ohýbání ve sdruženém nástroji. Do ceny bude zahrnuta hodnota materiálu potřebného pro výrobu součásti a cena nástroje. Životnost nástroje je zvolena $T_s = 5$ let.

Náklady na materiál

Materiál 11 321.1 z ceníku FERONA: 24,50Kč/kg

Dle vztahu (4.3) v kapitole 4 bylo zjištěno potřebné množství materiálu.

Spotřeba materiálu za jeden rok:

$$m_o = \frac{m_c}{5} = \frac{838}{5} = 168t = 168000kg \quad (5.1)$$

Hmotnost odpadu:

$$m_{od} = m_2 - m_s = \frac{837 - 607}{5} = 46t = 46000kg \quad (5.2)$$

kde m_s hmotnost součástí celkem ($m_{sj} \cdot Q = 1,012 \cdot 600000 = 60720kg$)

Náklady na materiál:

$$N_m = 24,50 \cdot (m_o - m_{od}) = 24,50 \cdot (168000 - 46000) = 2989000,-Kč \quad (5.3)$$

Zhodnocení odpadu:

Cena zhodnoceného odpadu $C_o = 3Kč/kg$

$$Z_o = m_{od} \cdot C_o = 46000 \cdot 3 = 138000,-Kč \quad (5.4)$$

Náklady na potřebný materiál

$$N_{mc} = N_m - Z_o = 2989000 - 138000 = 2851000,-Kč \quad (5.5)$$

Náklady na nástroj

Sazba hodinové mzdy: $TKK = 95 \text{ Kč/hod}$
 Potřebný čas na výrobu nástroje 330 hodin:
 $350 \cdot 95 = 33250, -\text{Kč}$ (5.6)

Jednicová mzda: $JM = 27100, -\text{Kč}$
 Zpracovatelské náklady: $ZN = JM \cdot R = 27100 \cdot 6,7 = 181570, -\text{Kč}$ (5.7)
 Zisk činí přibližně 15% zpracovatelských nákladů:
 $Z = 0,15 \cdot 181570 = 27236, -\text{Kč}$

Tab. 5.1 Cena materiálu pro výrobu nástroje

Materiál	Hmotnost polotovaru [kg]	Cena polotovaru [kg]	Cena [Kč]
11 373	396,2	23,90	9469,-
12 050.9	12,4	54,-	670,-
14 220	7	56,-	392,-
19 436.3	66,71	141,-	9406,-
Normovaný materiál			550,-
Celkem			20487,-

Dle tabulky 5.1 je cena materiálu potřebného pro výrobu nástroje $N_{mn} = 20487, -\text{Kč}$

Celkové náklady na nástroj N_n :

$$N_n = ZN + Z + N_{mn} + N_{nak} = 181570 + 27236 + 20487 + 352 = 229843, -\text{Kč} \quad (5.8)$$

Náklady na mzdy

Přípravný čas $t_p=0,5\text{hod./směna}$, čas manipulace $t_m=2\text{hod./směna}$, kontrolní čas $t_k=0,5\text{hod./směna}$, výrobní čas $t_v=4,5\text{hod./směna}$.

Počet vyrobených součástí za hodinu

Počet zdvihů lisu je zvolen $n_z=25\text{min}^{-1}$

$$n_{sh} = n_z \cdot 60 = 25 \cdot 60 = 1500 \text{ ks / hod} \quad (5.9)$$

Počet vyrobených součástí za směnu

$$n_{ss} = n_{sh} \cdot t_v = 1500 \cdot 4,5 = 6750 \text{ ks/směna} \quad (5.10)$$

Počet potřebných směn pro výrobu za jeden rok

$$n_{sm} = \frac{Q}{n_{ss} \cdot 5} = \frac{600000}{6750 \cdot 5} = 17,78 \cong 18 \text{ směm} \quad (5.11)$$

Počet hodin potřebných na výrobu

$$n_h = n_{sm} \cdot (t_p + t_v + t_m + t_k) = 18 \cdot (0,5 + 4,5 + 2 + 0,5) = 135 \text{ hodin} \quad (5.12)$$

Celkové náklady na mzdy

$$N_{mz} = n_h \cdot TKK = 135 \cdot 95 = 12825, -\text{Kč} \quad (5.13)$$

Přímé mzdy

Sociální a zdravotní pojištění 34% \Rightarrow SZ = 4361,-Kč

$$P_m = N_{mz} + SZ = 17189,-Kč \quad (5.14)$$

Náklady na spotřebovanou elektrickou energii

Příkon lisu: $P_L = 22kW$

Cena energie: $C_e = 4,-Kč/kWh$

$$N_C = P_L \cdot C_e \cdot n_h = 22 \cdot 4 \cdot 135 = 11880,-Kč \quad (5.15)$$

Celkové náklady na mzdy a režii

Výrobní režie: 390% z $P_m \Rightarrow VR = 67037,-Kč$

Správní režie: 120% z $P_m \Rightarrow SR = 20627,-Kč$

$$N_{mr} = VR + SR = 67037 + 20627 = 87664,-Kč \quad (5.16)$$

Cena součásti

Náklady na materiál jedné součásti

$$N_{ml} = \frac{N_{mc} \cdot 5}{Q} = \frac{2989000 \cdot 5}{600000} = 24,90,-Kč/ks \quad (5.17)$$

Náklady na výrobu jedné součásti

$$N_{vl} = \frac{(N_{mr} + N_n) \cdot 5}{Q} + N_{ml} = \frac{(87664 + 229843) \cdot 5}{600000} + 24,90 = 27,55,-Kč \quad (5.18)$$

Celková cena součásti(s vyjádřením zisku 30%)

$$C_C = N_{vl} \cdot Z = 27,55 \cdot 1,3 = 35,815,-Kč \quad (5.19)$$

Určení kritické dávky

Fixní náklady

$$FN = N_{mr} + N_n - P_m = 87664 + 229843 - 17189 = 300318,-Kč \quad (5.20)$$

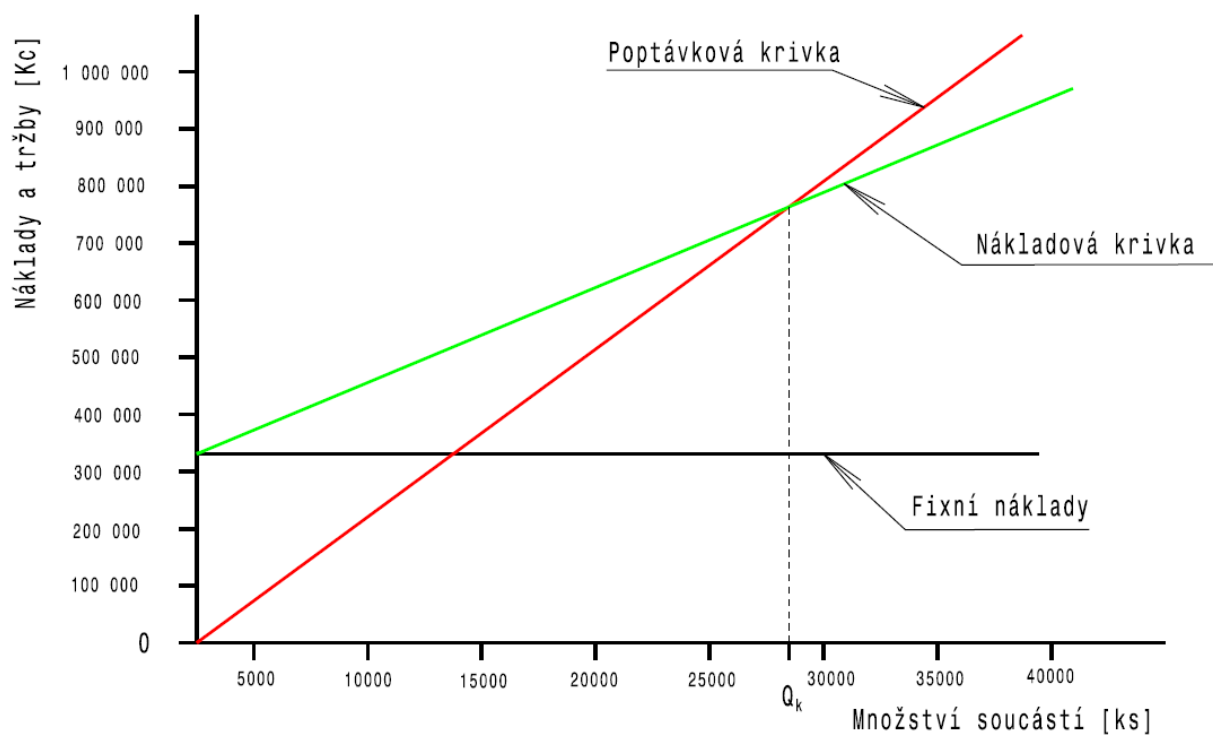
Jednotkový náklad na výrobek

$$v_j = N_{ml} + \frac{P_m \cdot 5}{600000} = 24,90 + \frac{17189 \cdot 5}{600000} = 25,04,-Kč/ks$$

Kritické množství

$$Q_k = \frac{FN}{(C_C - v_j)} = \frac{300318}{35,815 - 25,04} = 27871ks$$

Při vyrobení a zároveň prodeji 27871 kusů součástí nastává bod zvratu a výroba a následný prodej výrobků začíná být ziskový. Vzhledem k vyráběné sérii 600000kusů během pěti let je zřejmé, že navržená technologie výroby bude efektivní za velice krátkou dobu. Bod zvratu je zobrazen na obr. 5.1.



Obr. 5.1 Grafické určení bodu zvratu

6 ZÁVĚRY

Kotevní prvek je součást, která není tvarově složitá a nejsou kladeny velké požadavky na její rozměrovou přesnost. Možné výrobní technologie jsou: odléváním do formy, řezáním, vypalováním a děrováním laserem, vysekáváním, přesným vystřihováním, stříháním na postupovém stříhadle a následným ohybem v dalším nástroji, stříháním a ohýbáním ve sdruženém nástroji.

Pro zhodnocení vhodnosti uvedených technologií výroby kotevního prvku bylo nutné zohlednit zejména předepsanou kvalitu součásti a ekonomickou náročnost. Podstatná byla také velikost výrobní série a vybavenost strojního parku.

Jedna z možných technologií je odlévání. Materiál předepsaný na výkrese je ocel, která při použití této technologie nepřípadá v úvahu vzhledem ke tvaru součásti. Možnou variantou by bylo použití slitiny zinku, ale vzhledem k předepsaným pevnostním vlastnostem tento materiál vhodný není.

Řezání, vypalování, děrování laserem a následný ohyb jsou pro výrobu kotevního prvku nevhodné. Zásadním problémem jsou vysoké pořizovací náklady těchto technologií, zbytečně vysoká přesnost a jakost povrchu, což u zadané součásti není nutné. Dalším problémem spočívá v nemožnosti výroby na jednom stroji. Následný ohyb by se musel provádět na jiném stroji a to by vedlo k neúměrně zvýšeným nákladům na manipulaci s materiálem.

Vysekávání pomocí CNC vysekávacích lisů má podobné nevýhody jako řezání, vypalování a děrování laserem. A to především následný ohyb, který by bylo nutné udělat na jiném pracovišti. Při této technologii je také nutná vysoká kvalifikace obsluhy. Tyto dva hlavní aspekty neúměrně zvyšují výrobní náklady u této technologie.

Přesné stříhání se vyznačuje vysokou jakostí střížné plochy, což u zadané součásti není nutné. Výroba by volbou této technologie byla nákladnější.

Stříhání na postupovém stříhadle a následný ohyb v dalším nástroji je pro zadanou součást vzhledem k vyráběné sérii 600000 kusů nevhodný. U této varianty opět nastává problém s manipulací polotovaru pro následný ohyb.

Stříhání a následný ohyb ve sdruženém nástroji je pro výrobu nejvhodnější technologie, protože u této varianty odpadá problém s manipulací polotovaru. Všechny operace jsou provedeny v jednom nástroji. Součást „kotevní prvek“ vyrobený touto technologií splňuje všechny předepsané požadavky.

Na základě posouzení všech ukazatelů jak technických tak ekonomických byla zvolena technologie postupového stříhání a ohýbání ve sdruženém nástroji. Byl vybrán materiál 11 321.1, který je pro tuto technologii vhodný a vyhovuje i účelu pro který je výrobek určen. Vzhledem k vyráběné sérii 600000 kusů byl pro výrobu jako polotovar zvolen tabule plechu. Byl navržen sdružený nástroj. Konstrukční řešení bylo provedeno v závislosti na požadované přesnosti výrobku. Přihlédlo se i k trvanlivosti střížného nástroje vzhledem k vyráběné sérii. Kontrolní výpočty střížných sil byly použity zejména pro určení lisu. Pro výrobu byl zvolen výstředníkový lis CDCH 3000P, který plně vyhovuje svými technickými parametry.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie*. 2. vyd. Praha: Scientia, 1998. 316 s. ISBN 80-7183-117-4.
2. FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. [s.l.]: [s.n.], 1991. 187 s.
3. *Ikopp : ohýbání plechů* [online]. 2007 [cit. 2011-05-16]. Ohýbání plechů. Dostupné z WWW: <<http://www.ikopp.cz/>>.
4. LEINVEBER, Jan, Pavel VÁVRA,. *Strojnické tabulky*. vyd. Úvaly: Albra, 2005. 907 s.
5. *ArcelorMittal Ostrava : výrobní program* [online]. 2003 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <http://www.arcelormittal.com/ostrava/AM_programme2_s5_cz.html>.
6. *Euir srl : Parts and subassemblies for Industry* [online]. 2010 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.euritsrl.com/presse-eng.htm>>.
7. *MD Industrial Systems Limited* [online]. 2009 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.mdind.com/Products.htm>>.
8. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. [s.l.]: [s.n.], 1983. 213 s.
9. NOVOTNÝ, Jan, Jiří ŠANOVEC. *Technologie. I.* vyd. České vysoké učení technické v Praze: ČVUT, 2006. 221 s.
10. DVOŘÁK, Miroslav, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření*. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1996. 169 s. ISBN 80-214-0771-7.
11. BAREŠ , Karel et al. *Lisování. I.* vyd. Praha: SNTL, 1971. 542 s.
12. AMBROŽ, Oldřich, Miroslav HORÁČEK a Zdeněk MACHÁČEK. *Technologie slévání, tváření a spojování -Laboratorní cvičení*. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1989. 92 s. ISBN 80-214-0043-9.
13. *Katedra 345 FS vsb-tuo* [online]. 2006 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.345.vsb.cz/>>.
14. *Katedra strojírenské technologie, TS, TU v Liberci* [online]. 2006 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.ksp.tul.cz/>>.
15. *Katedra 345 FS vsb-tuo : Tek04.pdf* [online]. 2006 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.345.vsb.cz/>>.
16. SRP, Karel et al. *Základy lisování. I.* vyd. Praha: SNTL, 1965. 248 s.
17. *Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně* [online]. 2001 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.fme.vutbr.cz>>.

18. *Katedre tváření kovů a plastů - Skripta : tkp/sekce/07.htm* [online]. 2006 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.ksp.tul.cz/>>.
19. DVORÁK, Miroslav, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ,. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření* 3. vyd. Brno: CERM, 2003. 169 s. ISBN 80-214-2340-4.

Seznam použitých označení a symbolů

F_s	[N]	střížná síla
F_{si}	[N]	střížná síla jednotlivého střížníku
n	[-]	součinitel otupení
l	[mm]	délka stříhu
S	[mm ²]	plocha stříhu
t	[mm]	tloušťka stříhaného materiálu
τ	[MPa]	střížný odpor
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
A	[J]	střížná práce
λ	[-]	součinitel plnosti
X_T	[mm]	vzdálenost těžiště od osy y
Y_T	[mm]	vzdálenost těžiště od osy x
m	[mm]	střížná mezera
v	[mm]	střížná vůle
c	[-]	koeficient závislý na druhu stříhaní
k_m	[%]	součinitel využití materiálu
S_v	[mm ²]	plocha výstřižků z pásu plechu
S_p	[mm ²]	plocha pásu plechu
R_o	[mm]	poloměr ohybu
z_z	[-]	součinitel ztenčení
z_r	[-]	součinitel rozšíření původního průřezu
F_v	[N]	síla potřebná pro „V“ ohyb
F_u	[N]	síla potřebná pro „U“ ohyb
b	[mm]	šířka ohýbaného materiálu
f	[-]	součinitel tření
γ	[°]	úhel odpružení u „V,U“ ohybu
l_v	[mm]	vzdálenost ohýbacích hran u „V“ ohybu
k_n	[-]	součinitel určující polohu neutrální osy
x	[mm]	posunutí neutrální osy
R_e	[MPa]	mez kluzu daného materiálu
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
l_u	[mm]	délka ohýbaného ramene u „U“ ohybu
r_1	[mm]	poloměr zaoblení ohybnice
R_{min}	[mm]	minimální poloměr ohybu
ε_{tmax}	[-]	poměrná deformace
c_o	[-]	koeficient
l_o	[mm]	délka ohnutého úseku
l_r	[mm]	délka rovinného úseku
L_c	[mm]	celková délka polotovaru
l_{krit}	[mm]	kritická délka střížníku
I_{min}	[mm ⁴]	minimální kvadratický moment průřezu
σ_{TL}	[MPa]	napětí v tlaku
σ_{dov}	[MPa]	dovolené napětí v tlaku
m_1	[kg]	hmotnost spotřeby materiálu při variantě I.
m_2	[kg]	hmotnost spotřeby materiálu při variantě II.
m_o	[kg]	hmotnost materiálu potřebného na jeden rok
m_s	[kg]	hmotnost součástí celkem
m_{od}	[kg]	hmotnost odpadu
N_m	[Kč]	náklady na materiál

Z_o	[Kč]	cena zhodnoceného odpadu
N_{mc}	[Kč]	náklady na potřebný materiál
TKK	[Kč]	sazba hodinové mzdy
JM	[Kč]	jednicová mzda
ZN	[Kč]	zpracovatelské náklady
R	[Kč]	režie
Z	[Kč]	zisk
N_n	[Kč]	náklady na nástroj
t_p	[hod]	přípravný čas
t_m	[hod]	čas manipulace
t_k	[hod]	kontrolní čas
t_v	[hod]	výrobní čas
n_z	$[\text{min}^{-1}]$	počet zdvihů za minutu
n_{sh}	$[\text{hod}^{-1}]$	počet zdvihů za hodinu
n_{ss}	[ks]	počet vyrobených součástí za směnu
Q	[ks]	počet součástí v sérii
n_{sm}	[-]	počet směn
n_h	[hod]	počet hodin potřebných na výrobu
N_{mz}	[Kč]	celkové náklady na mzdy
P_m	[Kč]	přímé mzdy
SZ	[Kč]	sociální a zdravotní pojištění
P_L	[kW]	příkon lisu
C_e	[Kč]	cena energie
N_C	[Kč]	náklady na spotřebovanou energii
VR	[Kč]	výrobní režie
SR	[Kč]	správní režie
N_{mr}	[Kč]	celkové náklady na mzdy
N_{m1}	[Kč]	náklady na materiál jedné součásti
N_{v1}	[Kč]	náklady na výrobu jedné součásti
C_c	[Kč]	celková cena součásti
FN	[Kč]	fixní náklady
v_j	[Kč]	jednotkový náklad na výrobek
Q_k	[ks]	kritické množství

Seznam příloh

Příloha 1	- Střížné odpory ocelí
Příloha 2	- Střížné odpory neželezných materiálů
Příloha 3	- Příklady nástřihových plánů
Příloha 4	- Vzdálenost kruhových a obdélníkových otvorů od okraje výstřižku
Příloha 5	- Schéma excentrického lisu CDCH 3000 P

Seznam výkresů

DP/2011/VKP1	- Výkres součásti
DP/2011/VKP2	- Výkres sestavy součásti
DP/2011/VKP3	- Výkres sestavy stříhadla

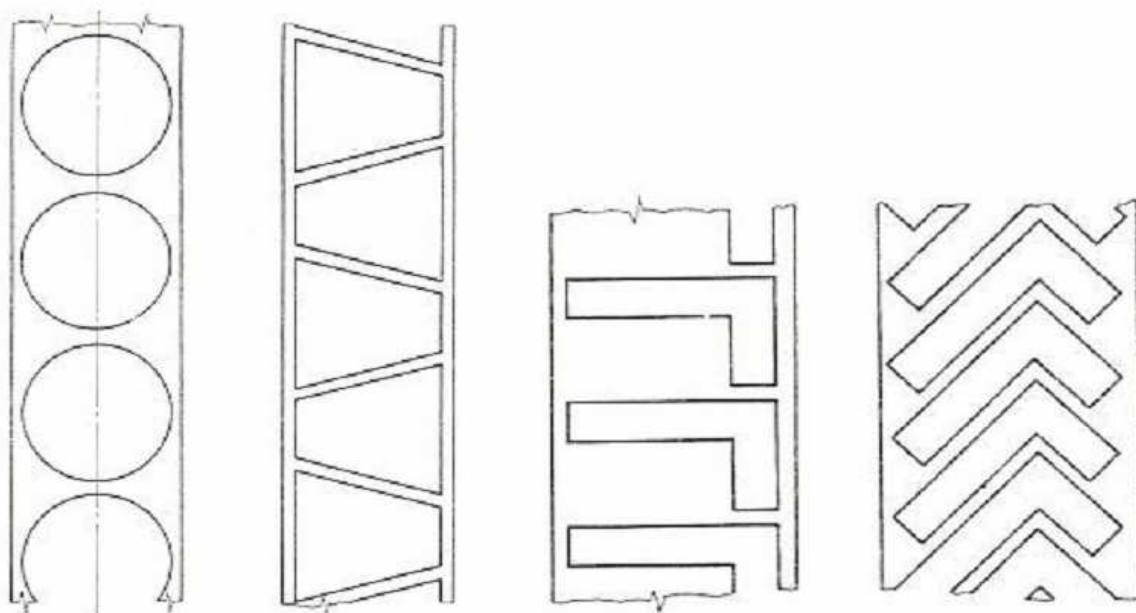
Tabulka: Střížné odpory ocelí [4]

Druh oceli	Označení oceli ČSN	Střížný odpor τ_s [MPa]	Pevnost v tahu σ_{pt} [MPa]	Tažnost δ [%]
Uhlíkové s nízkým obsahem C	10 340	280-360	340-420	23-25
	10 370	320-400	370-450	18-20
	10 422	360-450	420-500	18-20
	11 500	440-530	500-600	15-17
	11 301.2	240-330	280-380	33
	11 321	240-330	280-380	33
Uhlíkové tvářené za studena	11 340.22	290-400	340-460	14
	11 340.25	520-700	600-800	3
	11 341.20	240-340	280-400	26
Uhlíkové ušlechtilé	12 000.20	700	max.800	
	12 010.1	300	min.340	
	12 020.20	330-440	380-500	23
	12 041.20	390-520	450-600	20
	12 061.1	min.540	min.620	13
	12 071.20	480-600	560-700	17
Slitinové ušlechtilé	13 180.20	700	max.800	14
	14 160.0	820	950	
	14 220.30	560	max.650	
Korozivzdorné	17 021.3	470	560	
	17 041.21	600	700	

Tabulka :Střížné odpory neželezných materiálů [4]

Druh materiálu	Označení materiálu ČSN	Střížný odpor τ_s [MPa]	Pevnost v tahu σ_{pt} [MPa]
Slitina hliníku	42 4057.1	50-70	max.110
	42 4412.1	110-120	max. 230
	42 4451.1	60-80	max. 150
	42 4201.1	110-130	max. 230
	42 4203.1	120-130	max. 240
	42 4253.6	260-280	420
Mosaz	42 3912.1	260	300
	42 3212.2	300	350
	42 3212.3	340	400
	42 3234.1	340	400
	42 3256.1	300	350
	42 3256.3	430	500
Bronz	42 3016.1	300	350
	42 3016.2	350	400
	42 3016.3	430	500
	42 3016.4	520	600
Měď	42 3001.1	300	200
	42 3001.3	260	300
	42 3005.1	180	210
Zinek		120-200	140-230

Příklady nástřihových plánů



Vzdálenost kruhových a obdélníkových otvorů od okraje výstřížku [4]

Tloušťka plechu	Rozměr a (mm)	Rozměr b (mm)	Rozměr c (mm)			
			Pro šířku otvoru L (mm)			
			5 až 50	50 až 100	100 až 200	nad 200
do 1	1,5	2,5	3	8	13	20
1 až 1,6	2,4	3,2	4,5	8	13	20
1,6 až 2	3	4	6	10	14	25
2 až 2,5	3,7	4,5	7	10	16	25
2,5 až 3,2	4,8	5	8	13	20	28
3,2 až 4	6	6	9	13	20	28
4 až 5	7	8	10	16	22	32

